Der Bau und die Wirtschaftlichkeit von Schienen-Straßen-Fahrzeugen.

Von der
Technischen Hochschule BRESLAU
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation.

Vorgelegt von
Regierungsbaumeister Dipl.-Ing.
Albert Ganzenmüller
aus Nürnberg.

Referent
Prof. Georg Lotter

Korreferent
Privatdozent Dr.-Ing. Straubel

Tag der mündlichen Prüfung: 24. II. 1934

Verlag: Reichsbahn-Zentralamt München
1934

Auszugsweise veröffentlicht
in der
„Zeitschrift des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen“
Jahrgang 1934, Heft 8 u. 10.

Der Bau und die Wirtschaftlichkeit von Schienen-Straßen-Fahrzeugen.

Von der
Technischen Hochschule BRESLAU
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation.

Vorgelegt von
Regierungsbaumeister Dipl.-Ing.
Albert Ganzenmüller
aus Nürnberg.

Referent
Prof. Georg Lotter

Korreferent
Privatdozent Dr.-Ing. Straubel

Tag der mündlichen Prüfung: 24. II. 1934

Verlag: Reichsbahn-Zentralamt München
1934

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

L e b e n s l a u f

des Regierungsbaumeisters Albert Ganzenmüller.

Am 25.Februar 1905 wurde ich als Sohn des Albert Ganzenmüller zu Passau geboren. Von 1911 bis 1915 besuchte ich die Volksschule,von Herbst 1915 bis zur Ablegung der Reifeprüfung im April 1924 das Neue Realgymnasium in München. Von Oktober 1924 bis Juli 1928 besuchte ich die Technische Hochschule in München,Maschineningenieur=Abteilung,an der ich 1926 die Vorprüfung und Juli 1928 die Diplom=Hauptprüfung mit "gut" bestand. Vor und zwischen dem Hochschulstudium arbeitete ich praktisch bei den Firmen Sager und Woerner,Lokomotivfabrik Krauss & Co.,Amperwerke=Elektrizitäts-A.G.,sämtliche in München,ferner bei den Röchling'schen Eisen= und Stahlwerken,Völklingen/Saar und bei den Siemens-Schuckert-Werken,Berlin-Siemensstadt. Im September 1928 wurde ich als Baureferendar (Reichsbahnbauführer) des Maschinenbaufaches bei der Reichsbahndirektion München aufgenommen. Meinen Vorbereitungsdienst bei der DRG unterbrach ich von März 1929 bis Mai 1930 durch die Tätigkeit bei der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft,Bahnabteilung,in Berlin und in Schlesien. Im Oktober 1931 bestand ich die Staatsprüfung für das Maschinenbaufach mit "gut". Im März 1932 wurde ich zur Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft,Reichsbahndirektion Nürnberg, als Reichsbahnbaumeister in den höheren Dienst einberufen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545806_0023

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
A. Entwurf von Schienenstraßenwagen	7
I. Das Einzeltriebfahrzeug	12
1) der Wagenkasten	12
2) der Kraftantrieb	13
3) Rahmen und Zugvorrichtung	17
4) Räder	18
a) Radkonstruktion	18
b) Beischiene	24
c) Verhalten des Rades beim Lauf durch Gleiskrümmungen	27
5) Bremsen	45
II. Die Zugfahrzeuge	46
1) Wagen ohne Kraftantrieb	46
a) Wagenkasten	46
b) Rahmen, Zug- und Stoßvorrichtung	46
2) Wagen mit eigenem Kraftantrieb	5o
III. Zusammenfassung und Ausblick	52
B. Die Wirtschaftlichkeit im	54
I. Personenverkehr	55
II. Güterverkehr	56
1) Umladekosten Straße-Schiene	58
2) Abfertigungskosten	u.f.
3) Umladekosten Schiene-Schiene	
4) Zugbildungskosten	
5) Zugförderkosten	61
a) Beförderung auf der Schiene	62

b) Rollfuhrkosten für reinen Schienenbetrieb 67

c) Zusätzliche Kosten bei Schienen-straßenbetrieb 67

α) Beförderung mit eigener Kraft mit und ohne Beischiene 67

β) Beförderung mit Schlepper und mit Beischiene 7o

6) Umwegkosten und Anteil des Dienstgutes 74

7) Schuldendienst 74

III. Zusammenfassung und Ausblick 74 u.f.

Der Bau und die Wirtschaftlichkeit von Schienen-Straßenfahrzeugen.

Einleitung.

Von allen zur Zeit schwebenden Verkehrsproblemen hat besonders der Wettbewerb zwischen Eisenbahn und Kraftwagen die Fachleute aller Richtungen auf den Plan gerufen. Zahlenmäßig nehmen hiebei die Abhandlungen rein volkswirtschaftlicher Art den breitesten Raum ein. Diese Arbeit will dagegen versuchen, dieses Verkehrsproblem durch eine technische Lösung zu klären.

Die technischen Einrichtungen auf diesem Gebiet können in zwei große Gruppen eingeteilt werden,und zwar in solche, die

1. das Umladen der Güter von den Eisenbahn- auf die Straßenfahrzeuge erleichtern und
2. das Umladen überhaupt entbehrlich machen,also durch irgendwelche Vorrichtungen den direkten Übergang der Eisenbahnfahrzeuge auf die Straße und damit den Haus-Hausverkehr technisch ermöglichen.

Der bedeutendste und aussichtsreichste Vertreter der Gruppe 1 ist der Behälter,dessen Aufgaben und Formen durch zahlreiche Veröffentlichungen hinreichend bekannt sind [1]).

Von den unter 2.erwähnten Vorrichtungen sind solche entwickelt worden,bei denen

I) an den Eisenbahnfahrzeugen selbst überhaupt keine Veränderungen vorgenommen werden,sondern diese auf Stras-

---

[1]) Brauner,"Behälterverkehr",RKW-Veröffentlichungen 1933,Nr.77.

sen-Rollböcke oder Kraftfahrzeuganhänger gesetzt und so auf der Straße befördert werden [2]).(Die Umkehrung davon ist,daß ganze Kraftwagen auf Eisenbahnwagen verladen und weitergefahren werden [3]).

II) an den Fahrzeugen die Räder oder Teile derselben ausgewechselt werden. Solche sollen weiterhin in dieser Arbeit "Schienenstraßenfahrzeuge" genannt sein.

Gelingt es,dafür eine technisch einfache und praktische Lösung zu finden,so hat diese für den Eisenbahnbetrieb unter Umständen mehr Bedeutung als eine solche der Gruppe I. Bei einer zukünftigen Belebung der Wirtschaft würde dann die Eisenbahn den Wettbewerb der Autobusgesellschaften nicht mehr zu befürchten haben,da ja auch die Omnibusse an ihren einmal öffentlich bekanntgegebenen Fahrweg und ihre Haltestellen gebunden sind und der reine Haus-Hausverkehr nur von privaten Kraftwagen durchgeführt werden kann.

Der erste Schienenstraßenwagen war der Carrier-Omnibus einer englischen Eisenbahngesellschaft [4]). Diese versucht,mit solchen Wagen in jene Verkehrsgebiete einzudringen,die keinem Schienennetz angeschlossen sind und dadurch vom Straßenkraftwagen erobert werden konnten. Das Schienen-Straßenfahrzeug wird außerdem das Eisenbahnnetz weiter verästeln und damit Nebenbahn- und Zubringerdienst leisten müssen. Außerdem kann es auf den Anschlußbahnhöfen mit mehreren Wagen der gleichen Art zu Zügen zusammengestellt und von einer Schienen-Lokomotive abgeschleppt werden.

---

2) Dr.Spieß,"Kraftfahrzeuganhänger",etc.ZVDEV 1932,Nr.14.

3) Dr.Ing.Bäseler,"Die einfache Eisenbahn",ZVDEV 1927,Nr.27,28,29.

4) Monatsschrift d.Jnternationalen Eisenbahnkongreß-Vereinigung, 1931,Heft 11.

Der vorgenannte Carrier-Wagen hat,wie Abb.1 und 2 zeigen, auswechselbare Räder. Darauf ist das im Verhältnis zur Nutzlast außergewöhnlich hohe Eigengewicht zurückzuführen.(siehe Zusammenstellung 1). Die Umstellung von Schiene auf Straße und umgekehrt ist an eigens hiefür vorzusehende Auflaufflächen (eingepflasterte oder eingedeckte Gleisstücke) gebunden. Für einen einzelfahrenden Wagen bedeutet das keine Schwierigkeit. Sobald jedoch Züge gefahren werden,müssen,wenn die Umstellung an allen Wagen gleichzeitig erfolgen soll,soviel Umstellrampen wie Fahrzeuge vorhanden sein,oder die Wagen nacheinander auf eine einzige Umstellrampe geschleppt werden; das ist jedoch sehr zeitraubend. Die Umstellung geht folgendermaßen vor sich:

In Abb.3 ist a das Spurkranzrad; es ist mittels des Rollenlagers b und der Buchse c auf der Achse d gelagert. Das Strassenrad e ist auf einer Gleithülse f gelagert,die lose auf einer Buchse g läuft. Diese Buchse ist mittels des Flansches g^1 mit der Radscheibe a^1 verschraubt und auf den Kegelansatz d^1 der Achse d aufgezogen. Die Radscheibe e^1 des Straßenrades ist mit einem halbkreisförmigen Schlitz e^2 versehen,indem die Gleithülse f verschiebbar ist. Für Straßenfahrt ruht die Gleithülse f im Ende e^3 des Schlitzes. Das Straßenrad ist hierbei um die Hülse i heruntergeschwenkt,wobei es gleichzeitig eine solche Drehung erfährt,daß die Bohrung h in der Radscheibe e koaxial mit der Bohrung i des Flansches g^2 der Buchse g liegt. Durch Hereinstecken eines Bolzens in diese und die nunmehr sich gleichfalls deckenden Bohrungen h^1 und i^1 wird die Lage des Straßenrades gegenüber der Achse d gesichert. Für Fahrt auf einem Gleis wird nach Entfernen der Steckbolzen in den Bohrungen h, i bezw.h^1, i^1 das Straßenrad hochgeschwenkt,bis die Hülse j etwas senkrecht über

der Achse liegt. Durch eine der Bohrungen h^2 des Flansches g^2 und durch die Hülse j wird dann einer der Steckbolzen hindurchgesteckt. Um das Straßenrad in der angehobenen Lage unbedingt gegen Herabschwenken zu sichern, ist an dem Fahrzeugrahmen ein Bügel k gelagert; er besitzt zwei Bohrungen, die den Bohrungen k^1 und k^2 der Radscheibe e^1 gegenüber liegen, falls der Bügel heruntergeklappt und das Straßenrad hochgeschwenkt ist. In die Bohrungen werden entsprechende Steckbolzen eingesetzt.

Ferner sei ein Vorschlag (deutsches Patent 429 226 der Klasse 20 d) erwähnt, demgemäß ein Straßenfahrzeug von vornherein zur Aufnahme von Radsätzen für Schienenbetrieb eingerichtet ist. Diese Radsätze werden dann bei Übergang von und zur Schienenfahrt aus= bzw. eingebaut. In Abb. 4 ist 1 eine aus Beton hergestellte, beiderseits des Einrangiergleises angeordnete Laufbahn für die Straßenräder 2. Hinter den für den Straßenverkehr bestimmten Achsen des Fahrzeugs sind je zwei Tragfedern 3 und unmittelbar an diesen die gabelförmigen Aufnahmevorrichtungen angebracht. Zur Einführung der Achslager 4 des zugeführten Radsatzes 5 in die gabelförmige Aufnahmevorrichtung 6 sind rechts und links derselben Führungsschienen 7 vorgesehen, welche gleichzeitig auch den Tragfedern 3 bei vorkommenden Stößen eine gewisse Führung verleihen sollen. Die Stoßfedern 8 dienen beim Fahren des Fahrzeugs auf der Straße zum Abfangen von Stößen und verhindern jedes klappernde Geräusch. Ein am Federspannbolzen angebrachter Zapfen 9 greift beim Aufnehmen eines Radsatzes durch eine Aussparung desselben hindurch und in das Achslager. Das Straßenfahrzeug wird auf eine erhöhte Laderampe gefahren, die Zuggabel hochgeschlagen und gesichert und der Radsatz festgestellt. Nun wird ein Radsatz mit den zugehörigen Achslagern mittels einer Schiebebühne von einem Nebengleis in das Einrangiergleis gebracht. Auf der Schiebebühne befin-

det sich ein umlegbarer Führungsbock,welcher auch in der Fahrtrichtung beweglich,bzw.verstellbar ist und zur Blockierung und Einführung des Radsatzes dient. Das Straßenfahrzeug wird von der Laderampe auf den zwei außerhalb der Einrangiergleise befindlichen Laufbahnen mittels einer Seilwinde fortbewegt,sodaß die hinteren Aufnahmevorrichtungen unmittelbar über die Achslager des Radsatzes zu stehen kommen. Beim Weiterrollen des Fahrzeugs auf den Laufbahnen,welche von der vorerwähnten Stelle an etwas abfallen,nehmen die längeren Schenkel der Fanggabel den Radsatz mit. Je mehr das Fahrzeug auf der schiefen Laufbahn tiefer kommt,nähern sich die Achslager der Aufnahmevorrichtung,bis sie ihre richtige Stellung erreicht haben und der Führungszapfen 9 in das Achslager eingegriffen hat. Mit der Aufnahme ruht der Wagen nun auf der Eisenbahnachse. Das Führungsgestell 10 wird umgelegt,der Wagen bis zur Aufnahmestelle des zweiten Radsatzes herabgelassen; nun wiederholt sich der beschriebene Vorgang.

Es bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung,daß diese Arbeiten der Umstellung ebenso zeitraubend sind als die Umladung von Behältern mit Hilfe geeigneter Hebezeuge,deren Anlage nicht kostspieliger ist als die Anlage solcher Umstellrampen und =vorrichtungen.

Schließlich sei noch in Abb.5 ein amerikanisches Patent angeführt,das den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Gedanken schon,sehr nahe kommt. Die Fahrzeuge sind hiebei mit Voll= oder luftgummibereiften Rädern versehen. Sollen sie auf die Schiene übergehen,so wird über den Gummireifen eine mit einem Spurkranz versehene Trommel geschoben und am Radstern festgeschraubt. Um die Umstellung mindestens in derselben Zeit an beliebiger Stelle vornehmen zu können wie beim Carrier-Wagen,müßten allerdings sämtliche Fahrzeuge mit Wagenhebern versehen sein; ansprechend ist diese

Ausführung jedoch insofern,als sie ein und denselben Radstern sowohl für Schienen=wie für Straßenfahrt benützt und dadurch das Wagengewicht verringert,außerdem,weil sie den Eisenreifen mit geringem Rollwiderstand bei Schienenfahrten mit dem gut federnden Gummireifen für Straßenfahrten vereinigt.

Bei der Beurteilung all dieser Vorschläge ist zu bedenken, daß sie zu einer Zeit gemacht wurden,zu der hauptsächlich noch zwei dem heutigen Eisenbahnfahrzeug anhaftende Eigenschaften dieses hinderten,von der Schiene auf die Straße überzugehen:

1. die mangelhafte Abfederung des Stahlrades oder,mit anderen Worten,die hohen unabgefederten Massen und
2. der Spurkranz.

Die unter 1.genannten Nachteile sind durch die Herstellung von gummibereiften Eisenbahnrädern überwunden. Als erste Firma hat die Micheline-Gesellschaft diesbezügliche Versuche unternommen [5]). Die Reifenform - eine Spezialform - zeigt Abb.6. Der Reifen hat ebene Flanken,er wird mit 6 km/cm^2 aufgepumpt und durch einen abnehmbaren Ring gegen den innenliegenden Spurkranz gedrückt. Die Reifenauswechslung erfordert 3 - 5 Minuten. Die Räder haben Scheibenform,sind wie beim Straßenkraftwagen unabhängig voneinander drehbar und von den innen liegenden Bremstrommeln abnehmbar. Im Innern des Reifens ist ein Radkranz aus Holz,Bakelite oder Leichtmetall,der im Falle eines Reifenschadens die Last abstützt. Entweicht die Luft,so kann der Reifen nicht weiter als 15 mm einsinken und das Fahrzeug nicht entgleisen. Signallampen am Führerstand leuchten auf,sobald der Druck in irgend einem Reifen nachläßt. Die Laufleistung eines solchen Reifens wird mit 30 - 40 000 km angegeben. Das Gesamtgewicht des besetzten Wagens beträgt ca.6,5 to. Mit Rücksicht auf die schmalen Schienen und

---

5) Organ 1933,Heft 3,Seite 67.

die geringe spezifische Belastbarkeit der Luftreifen muß es auf 5 Achsen verteilt werden,vergl.Abb.7. Damit beträgt der maximale Achsdruck dieses Fahrzeugs nur 1,3 to. Derartige Wagen sind nach langen Probefahrten in Frankreich und in Amerika in den regelmäßigen Fahrdienst eingeführt worden und haben sich bewährt.

Im Nachfolgenden soll nun mit Hilfe der bisherigen Erfahrungen ein im Betriebe möglichst einfach zu bedienendes Schienenstraßenfahrzeug entworfen werden.

A. Entwurf von Schienenstraßenwagen.

Nach den Ausführungen im vorausgehenden Abschnitt über gummibereifte Eisenbahnräder eignen sich diese besonders gut für unsere Zwecke,weil man durch sie die ungefederten Massen weitgehend verringern,damit sowohl auf der Schiene wie auf der Straße fahren,ferner die Reibungsziffer gegenüber jener der Stahlräder auf Schiene ungefähr verdreifachen kann. Die Senkung der unabgefederten Massen ist notwendig,da nur auf diesem Wege eine optimale Gewichtsverminderung des Fahrzeugs erreicht werden kann [6]). Mit Rücksicht auf die Gummiräder und um die Zugkraft und damit die Leistung gering halten zu können,ist so leicht zu bauen als möglich,weil die Gummiräder nicht so hohe Raddrücke aufnehmen können als Eisenräder,insbesondere auf so schmalen Fahrstreifen,wie sie die normalen Eisenbahnschienen bieten. Bei Straßenfahrzeugen, denen eine unbeschränkt breite Radauflagerfläche zur Verfügung steht,hat man mit besonders großen Reifenprofilen (13",50/14",00 - 20) bisher Achsdrücke von bis zu 8 to erreicht. Um auch bei Eisenbahnfahrzeugen mit gummibereiften Rädern höhere Achsdrücke als bis-

---

6) Kreissig,"Prinzipien des Leichtwagenbaues",Glasers Annalen 1932,Heft 7.

her zu erreichen,muß man die jetzigen Schienen durch die später beschriebene Beischiene verbreitern. Ein späterer Wirtschaftlichkeitsnachweis zwischen ihr und einer entsprechend höheren Achszahl wird ihre Verwendung rechtfertigen.

Wird also der Wagen schwer,so braucht man mit Rücksicht auf die Gummiräder viel Achsen. Die genaue Einteilung der Fahrzeuggruppen wird später vorgenommen. Jetzt soll nur festgelegt werden,daß bei allen zweiachsigen Wagen das Gesamtgewicht annähernd gleich groß,d.h.höchstens ca.10 t,bei den dreiachsigen Wagen,die aus später erläuterten Gründen notwendig werden können, 15 t sein soll. Das entspricht unter Voraussetzung der Beischiene und des oben angegebenen Achsdruckes einer Zahl von 2,bzw.3 Achsen. Dabei wurde von der im wirtschaftlichen Teil dieser Arbeit begründeten Annahme ausgegangen,daß die 10-tonnigen Wagen u.a. den Stückgut- und Wagenladungsverkehr bis 5 t bedienen. (Nach Ermittlungen verschiedener Eisenbahnverwaltungen beträgt das durchschnittliche Gewicht einer Stückgutladung 2 - 2,5 t.). Diese Nutzlast für Personenwagen entspricht einer Fahrgastzahl von ca.50,den Fahrgast mit Gepäck zu 100 kg gerechnet. Somit darf das Fahrzeuggewicht bei 2-Achsern 5 t nicht übersteigen. Von den Abmessungen läßt sich vorderhand nur die größte Breite angeben, weil diese durch gesetzliche Bestimmungen festgelegt ist. Sie beträgt für Eisenbahnfahrzeuge nach der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung 3150 mm und für Kraftfahrzeuge nach dem Kraftfahrgesetz 2500 mm. Man muß sich also wohl mit dem letzteren Maß abfinden, wenn es nicht gelingt eine Sonderbestimmung herbeizuführen. Die größte Länge wird sich erst durch die Konstruktion selbst ergeben.

Der Leichtbau muß durch weitgehende Verwendung von Baustoffen des Kraftwagen- und Flugzeugbaues insbesondere bei den

am Fahrzeuggewicht erheblich beteiligten Bauelementen angestrebt werden. Die dadurch schon bei reinen Schienenfahrzeugen mit Stahlrädern erreichte Gewichtsverminderung muß bei Fahrzeugen mit gummibereiften Rädern soweit gesteigert werden,daß sich bei gleichen Tragfähigkeiten nahezu dieselben Fahrzeuggewichte ergeben wie bei den Kraftwagen. Bei den Fahrzeugen,die im Zugverbande laufen sollen,wird sich nicht dasselbe Verhältnis Nutzlast zu Eigengewicht wie beim Kraftwagen erreichen lassen,weil sie größere Zugkräfte übertragen müssen. Nutzfahrzeuge,die zur Mitführung eines Anhängers bestimmt sind,können jedoch als richtunggebend für das Verhältnis Nutzlast zu Eigengewicht betrachtet werden,z.B.Tatra 10 t : 6,3 t, sein Anhänger 3,3 t Eigengewicht. Die verhältnismäßig späte Entwicklung des Leichtbaues im Eisenbahnfahrzeugbau ist hauptsächlich auf das Mißtrauen zurückzuführen,das man diesem bis vor kurzem aus Sicherheitsgründen entgegenbrachte. Der Begriff der Steifheit war unzertrennbar mit dem Begriff der schweren Konstruktion verbunden; Man hat der Fahrzeugmasse keine allzu hohe Bedeutung beigemessen. Der Kraftwagen und noch vielmehr die Flugzeuge,die doch bisweilen beträchtlichen,auch stoßartigen Windlasten ausgesetzt sind,haben längst bewiesen,daß leicht und trotzdem stabil gebaut werden kann. Auch dürfte die Lebensdauer der Leichtfahrzeuge in wirtschaftlicher Hinsicht genügend groß sein,da infolge des geringeren Achsdruckes die Stöße an den Schienenenden wesentlich abgeschwächt und dadurch Oberbau und rollendes Material viel weniger beansprucht werden als bisher. Freilich muß man dabei in Kauf nehmen, daß solche Fahrzeuge in Züge mit Schwerfahrzeugen überhaupt nicht oder nur am Zugende eingestellt werden können. Aber man verzichtet ja schon bei den jetzt im Betrieb befindlichen "leichteren"

Triebwagen,sie in den allgemeinen Zugsverkehr einzustellen. Wenn man eine solche Einschränkung in Kauf nimmt,sollte man sie nach der anderen Richtung voll ausnutzen.

Leichtbau kann sowohl durch Verwendung von Leichtmetall und hochwertigem Stahl,als auch durch die Anwendung des Schweißens an Stelle der Niet- und Schraubenverbindungen erreicht werden. Meist wird für solche Bauelemente,die große Zugkräfte zu übertragen haben zäher Siliziumstahl dem weniger zähen,kostspieligen Leichtmetall vorgezogen. Die Gewichtsverminderung soll gegenüber der bisherigen Stahlbauweise durch höhere Festigkeit des Stahles und Anpassung der Konstruktion an den Verlauf der Kräfte und Spannungen ermöglicht werden. Gerade durch die Anwendung entsprechender Bauweisen und Bauelemente (z.B.Anwendung der Schwingachsen statt der Starrachsen,des Rohrrahmens statt des Kastenrahmens) läßt sich ein vielfaches der Gewichtsersparnis bei Verwendung von Leichtmetallen für die bisher üblichen Fahrzeugbauarten erreichen. Für die Herstellung solcher Bauteile dagegen,die weder großen Beanspruchungen noch Witterungseinflüssen ausgesetzt sind,wird Leichtmetall vorgeschlagen. Versuche haben ergeben,daß Eisenbahnfahrzeuge bei a u s s c h l i e ß l i c h e r Verwendung von Leichtmetall zwar um weitere 12 v.H.leichter,dafür um 40 v.H. teuerer werden. Die Gewichtseinsparung durch die Anwendung des Schweißens gegenüber dem früheren Nietverfahren beträgt an den Längsträgern allein ca.20 v.H.,ohne auf Nichteisenmetalle übergehen zu müssen. Durch besondere Schweißmaschinen ist man in der Lage,auch sehr dünne Bleche,wie Verkleidungsbleche und dergleichen zu verbinden. In Amerika hat man für die oben erwähnte sechsachsige Buddmicheline das höchst erreichbare Maß von Leichtbau dadurch bekommen,daß man für die Untergestellträger 0,75 mm

und für die Verkleidungsbleche 0,25 mm starkes Chromnickelstahl-wellblech verwendet und ebenfalls alles geschweißt hat (die Verwendung des Wellbleches wird im Leichtbau noch eine große Rolle spielen) [7]). Man hat dazu eine Punktschweißmaschine entwickelt, welche die Zeit der Schweißung ähnlich wie die Spürkranzschweißmaschine automatisch überwacht und von 1000stel - 100stel sec. einstellt,um eine Ausglühen des Materials zu vermeiden.

Auf diese allgemein gültigen Regeln des Leichtbaues baut sich folgende Einteilung der Fahrzeugklassen auf:

I) Einzeltriebfahrzeuge,die sowohl auf der Straße wie auf der Schiene allein oder höchstens mit einem Anhänger fahren,

II) Fahrzeuge,die auf der Schiene in einem Zugverbande laufen. Hier ist wieder zu unterscheiden zwischen Wagen

a) ohne Kraftantrieb,die auf der Straße wie auf der Schiene gezogen werden müssen. Sie können auf der Straße durch Motorschlepper oder dort wo die Haltung einer solchen Zugmaschine nicht wirtschaftlich ist von Zugtieren zum Empfänger gebracht werden,

b) mit Kraftantrieb,die auf der Straße mit eigener Kraft (Verbrennungsmotor)fahren, auf der Schiene gezogen werden.

Die Unterscheidung zwischen I) und II b) hat seinen Grund in dem verschiedenen Verhalten der beiden Fahrzeugarten beim Lauf durch Gleiskrümmungen. Beim Fahrzeug II b) können die Räder,wenn nötig,vom vorauslaufenden Wagen durch eine Deichsel geführt werden,, Fahrzeug I dagegen muß sich selbst führen. Das ist hinsichtlich des lauftechnischen Verhaltens in Krümmungen der schwierigere Fall. Ein Rad,das den hiebei auftretenden Kräften gewachsen ist, ist auch für die Fahrzeuge der Gruppe II verwendbar. Es folgen nun nähere Beschreibungen der einzelnen Fahrzeuge.

---

7) Vgl.Crosek: "Die Anwendung der Grundsätze des Leichtbaues auf den Fahrzeugbau",Verkehrstechnik 1932,Heft 24 a.

I) Das Einzeltriebfahrzeug.

Diese Verkehrseinheit hat schon beim reinen Schienenbetrieb in den letzten Jahren bei vielen Eisenbahngesellschaften für die Bedienung von dünnbesiedelten Gebieten,aber auch zur Ausfüllung von Fahrplanlücken und zur Belebung des Verkehrs wertvolle Dienste geleistet. Es wurde dabei fast ausschließlich, von wenigen Ausnahmen abgesehen,im Personenverkehr verwendet. Für diesen Zweck soll es auch in unserem Falle ausgebildet werden. Deshalb unterscheidet es sich auch durch den Wagenkasten und Rahmen von den Fahrzeugtypen II a und b. Die wenigen Aufträge,die einen Gütertriebwagen auf der Schiene erfordern,können durch ein Fahrzeug der Gruppe II b erledigt werden.

Maßgebend für die Beurteilung der Vorteile des Leichtbaues ist,abgesehen von der Verbilligung der Zugförder= und Oberbaukosten,das Verhältnis $\frac{\text{Nutzlast}}{\text{Leergewicht}}$ oder das Sitzplatz- bezw.Nutzflächengewicht eines Wagens. Die Zusammenstellung 1 vergleicht diese Zahlen von Eisenbahnfahrzeugen der bisher üblichen schweren Bauart mit denen der neuen Leichtfahrzeuge und gibt Aufschluß darüber,was durch den Leichtbau erreicht werden kann.

1. Der Wagenkasten.

Richtunggebend für den in Abb.38 gezeigten Entwurf waren die bei Leichttriebwagen gewonnenen Erfahrungen. Weitgehende Anwendung bereits entwickelter Einzelteile wie Türen, Fenster,Teile der Inneneinrichtung,elektrisch betriebenes Rolldach oder,für sehr kühle Gegenden,festes Dach ist unerläßlich. Neben den metallenen Baustoffen kann hier das Kunstholz gute

Dienste leisten,weil es leichter und widerstandsfähiger als natürliches Holz ist. Die Seitenlängswände werden bei den Personenwagen zum Tragen und zur Aufnahme von Schubkräften mit herangezogen,damit das Untergestell leichter gehalten werden kann. Sie werden aus Wellblech hergestellt,das bei entsprechender Wellung nach englischen Versuchen eine bis zu 70 % größere kritische Druckbeanspruchung verträgt als glattes Blech. Man könnte auch darauf verzichten,,Schiebefenster einzubauen, Dadurch wird zwar weiter an Gewicht gespart,die Annehmlichkeit des Reisens im Sommer jedoch bedeutend herabgesetzt. Auch müßte eine ausreichende Belüftung eingebaut werden,die den Wagen wieder teurer und schwerer macht. Die Erfahrung hat gezeigt,daß von den Reisenden sogar herablaßbare Fenster gewünscht werden. Das Gepäck kann im hinteren Teil des Wagens und auf dem Dache untergebracht werden.

Es ist nicht nötig,2 Führerstände anzuordnen,da das Wenden bei diesen Fahrzeugen keine Schwierigkeiten macht: An der Umkehrstation wird abgekuppelt,der Wagen wird ausgesetzt,der etwa mitzuführende Beiwagen umfahren,der Triebwagen wird gewendet und vor dem Anhänger wieder in das Gleis eingesetzt und gekuppelt.

2. Der Kraftantrieb.

Mit Rücksicht auf den Leichtbau brauchen wir eine Antriebsmaschine mit möglichst geringem Leistungsgewicht (kg/PS). Das ist der Verbrennungsmotor (4 kg/PS) oder der Elektromotor (7 kg/PS),dieser allerdings unter der Voraussetzung,daß der Strom einer Fahrleitung entnommen wird und keiner Umspannung oder Umwandlung bedarf.(Man kommt dann auf das System der Oberleitungsomnibusse). Da diese Fälle bis jetzt und solange,als der Stromrichter (Gleich=, Wechsel= Umrichter) noch in steter Entwicklung

ist,sich nur auf kleine Gebiete beschränken,kommt für unsere Zwecke vorderhand wohl nur dem Verbrennungsmotor größere Bedeutung zu. Die weitere Entwicklung der neuerdings wieder auftauchenden Sauggas [8]) - und auch Hochdruckdampfantriebe,System Doble [9]) für Triebwagen ist noch abzuwarten.

Man hat im Anfange des Eisenbahntriebwagenbaues den Fehler begangen,Verbrennungsmotoren mit Leistungen,wie sie im Lastkraftwagenbau (Eigengewicht 3 - 5 t) verwendet werden,in schwere 40 - 50 tonnige Personenwagen einzubauen. Schwere Fahrzeuge vertragen keine Zugkraftunterbrechungen,wie sie bei mechanischen Kraftwagengetrieben unvermeidlich sind,sondern man braucht dazu eben Zugkraftkennlinien,wie sie der Elektroreihenschlußbahnmotor oder die Dampfmaschine hat (siehe Abb.8). Es gibt bisher kein im praktischen Betriebe erprobtes mechanisches Getriebe,das die Kennlinie des Verbrennungsmotors in eine solche annähernde Hyperbel verwandelt; es entstehen immer wieder je nach der Zahl der Stufen größere oder kleinere Zugkraftsprünge. Man hat deshalb die Antriebe hauptsächlich nach 2 Arten entwickelt:

a) bei schweren Fahrzeugen läßt man den Verbrennungsmotor mit annähernd gleicher Last laufen und überträgt sein Drehmoment auf die Achsen über einen Stromerzeuger und Elektroantriebsmotor ("dieselelektrischer" Antrieb). Die Antriebsart hat neben der günstigen Ausnutzung der Motorleistung noch den Vorteil langer Lebensdauer,geringer Unterhaltungskosten und unabhängiger Verteilung des Reibungsgewichtes. Der Wirkungsgrad hält sich in bemerkenswerter Höhe,ist jedoch etwas geringer als bei rein mechanischer Übertragung.

---

8) Wawrziniok,"Fahrzeugmotorenbetrieb m.Generatorgas",ATZ 1933 H.7.
Kühne,"Holzgasgeneratoren f.Kraftfahrzeuge",ATZ 1933,Heft 10.

9) Roosen,"Neue Dampffahrzeuge",VDJ,1934,Heft 3.
Behrendt,"Zur Wirtschaftlichkeit d.Hochdruck-Dampfantriebes, ATZ,1933,Heft 19.
Automobiltechnisches Handbuch 13,Seite 1099..

b) bei leichten Fahrzeugen (10-12 t),bei denen Zugkraftunterbrechungen belanglos sind,verwendet man mechanische Getriebe ("dieselmechanischer" Antrieb). Diese sind leichter als die elektrische Übertragung gleicher Leistung unf haben etwas besseren Wirkungsgrad.

Diese zweite Art scheint für unsere Fahrzeuge geeignet. Man verwendet zwar,insbesondere in Amerika die elektrische Übertragung neuerdings bei reinen,auch gummibereiften Schienenfahrzeugen bereits bei Leistungen von 100 PS an. Hiebei ist jedoch zu berücksichtigen,daß man bei diesen Wagen doch nicht so ausschließlich auf Gewichtsersparnis bedacht sein muß,als bei Fahrzeugen des gemischten Betriebes.

Zu beachtenswerten Fortschritten ist man in letzter Zeit in der Entwicklung von Flüssigkeits-Getrieben und =Drehmomentwandlern gekommen,die den Vorteil der stufenlosen Regelung bei elektrischer Übertragung mit dem Vorteil des geringen Gewichtes mechanischer Übertragungen verbindet. Allerdings haben sie einen geringeren Wirkungsgrad als letztere. Das Prinzip besteht darin, daß ein von der Motorwelle angetriebenes,als Zentrifugalpumpe wirkendes Schaufelrad die Übertragungsflüssigkeit (Oel) in ein zweites,als Turbine wirkendes Schaufelrad drückt. Dieses ist mit der zu den Treibachsen führenden Antriebswelle meist direkt gekuppelt. Bekannte Ausführungen von Flüssigkeitsgetrieben sind in Deutschland das Trilok= und das Voith=Turbogetriebe,in England die "fluid flywheel"-Kupplung der engl.Daimler-Comp.

Als Antriebsmotor wird ein schnellaufender 120-150 PS Dieselmotor gewählt,der in Gefällen als kraftverzehrender Kompressor geschaltet werden kann und dann als Motorbremse arbeitet. Für die Kraftübertragung wählt man ein Stufenwechselgetriebe g (Abb.38) mit Kardangelenken k und Differential d an der angetrie-

benen Achse. Ein Entwurf mit Flüssigkeitsgetriebe wird deshalb nicht gesondert behandelt,weil dieses hinsichtlich seiner konstruktiven Einfügung in das Fahrzeug dem Stufengetriebe durchaus ähnlich ist. Auf ein Wendegetriebe,wie es im Triebwagenbau verwendet wird,kann hier verzichtet werden,weil auf den Umkehrstationen ohne Schwierigkeit gewendet werden kann,dagegen soll ein Rückwärtsgang für kleinere Geschwindigkeiten (Rangierfahrten) beibehalten werdem. Mit Rücksicht auf die Reibungsziffer von Gummi auf Eisen genügt es,wenn versuchsweise nur eine Achse angetrieben wird. Die Reibungszahl kann zwar bei sehr ungünstigen Verhältnissen (Glatteis) nach Versuchen von Schenck Werte von 0,1 und darunter erreichen,wird aber jene von Eisen auf Eisen bei gleichen Verhältnissen nicht unterschreiten. Die bisherigen Ausführungen zweiachsiger Schienentriebwagen und Nutzkraftwagen haben jedoch gezeigt,daß man bei normalen Strecken= und Straßenführungen mit einer angetriebenen Achse auskommt. Für besondere Zwecke dagegen ist (bei Zweiachsern) dem Allrad-Antrieb,wie er in Deutschland erstmals von Benz-Sendling im Jahre 1920 und neuerdings von Hanomag für Nutzfahrzeuge,von Bugatti u.a.für Rennwagen ausgeführt wird,größte Bedeutung beizumessen. Die Anordnung der Maschinenanlage wird möglichst so getroffen,daß Motorgeräusche und =Geruch von den Reisenden ferngehalten und keine Erschütterungen auf den Wagenkasten übertragen werden. Zwischen dem Motor und dem Rahmen werden Gummischeiben eingelegt. Wie die Abb.38 und 39 zeigen,wurde der Motor über der Vorderachse angeordnet. Dies geschah weniger mit Rücksicht auf die Kühlung als vielmehr auf leichte Ausbaumöglichkeit und vor allem eine ausreichende Belastung der vorauslaufenden Achse bei Schienenfahrten,um ihr eine sichere Führung zu geben. Es wäre zwar die Anbringung über oder

neben der treibenden Hinterachse auch sehr wünschenswert, um deren Reibungsgewicht zu erhöhen. Da hiezu jedoch bei beladenem Fahrzeug die Nutzlast dient, ist die Erfüllung der Fahrsicherheit zunächst zu berücksichtigen. Beide Vorteile könnten nur durch einen Vorderradantrieb vereinigt werden, der bisher aber nur für kleine Leistungen ausgeführt wurde. Abgesehen von dieser Einschränkung würde er bei den später besprochenen Dreiachslenkwagen eine sehr verwickelte Lenkung bedingen, von der wenigstens bei den hier entwickelten Erstausführungen aus Gründen der Betriebssicherheit zunächst abgesehen werden soll.

3. Rahmen und Zugvorrichtung.

Da die Anordnung der einzelnen Teile, wie Motor, Getriebe, Kraftübertragung ebenso erfolgen kann wie bei Strassenkraftwagen, so kann auch, wie Abb. 38 zeigt, das Fahrgestell übernommen werden. Der Rahmen kann, da die Seitenwände mittragen, leichter als bisher üblich gehalten werden; denselben ganz wegfallen zu lassen und die Wände volltragend zu machen, ist vorderhand nicht empfehlenswert, weil die Einleitung großer örtlicher Kräfte, die vom Motor und den Triebwerksteilen herrühren, unmittelbar in die leichten Binder des Wagenkastens noch Schwierigkeiten macht. Wagen, die auf der Schiene zwangsläufig gesteuert werden, müssen dreiachsig gebaut werden und haben dadurch ein etwas längeres Fahrgestell und statt der Hinterachse die Mittelachse als Treibachse. Die Gründe hiefür werden später erläutert.

Da der Personentriebwagen nicht in Züge eingestellt werden, sondern immer allein fahren oder am Zugende geschleppt werden soll, besteht die Zugvorrichtung nur aus einem einfachen

Haken,der so bemessen ist,daß man mit ihm einen Anhänger ziehen und den Triebwagen selbst bei Störungen abschleppen kann. Die mit Gummischeiben überzogenen Puffer dienen lediglich dazu,den etwaigen Aufstoß auf andere Fahrzeuge zu mildern. - Wir kommen nun zur Kernfrage des ganzen Schienenstraßenproblems,zu

4. den Rädern.

Wir wissen vorderhand nur,daß sie gummibereift sein sollen,ob mit Vollgummi oder Luftgummi,das kann noch nicht entschieden werden. Dem Fahrzeugtechniker drängen sich dabei begreiflicherweise gleich die mannigfaltigsten Fragen auf:

Was soll aus dem Spurkranz werden?

Wie hoch soll der endgültige Achsdruck werden?

Kann die neue Form überhaupt seitliche Drücke aufnehmen?

Wie verhält sich der Gummi in den Gleiskurven? Gibt er so vielseitig nach,daß das Fahrzeug auf der Schiene bei den gewöhnlichen Radständen mit steifen Achsen auskommt, oder müssen diese in den Kurven radial gestellt werden?

Die Behandlung dieser Fragen wird damit zu einem besonders wichtigen Gegenstand der Arbeit.

Wir behandeln zunächst die eigentliche

a) Radkonstruktion für Schienen= und Straßenfahrt.

Räder,die dafür geeignet sein sollen,müssen folgende Bedingungen erfüllen:

a) Die Radbereifung muß dasselbe Federungsvermögen aufweisen wie eine Kraftwagenbereifung und trotzdem entgleisungssicher sein.

b) Der Spurkranz,der für die Schienenfahrt nötig ist, muß für die Straßenfahrt unwirksam gemacht werden können.

Zu a). Bei Vollgummi braucht man,vorausgesetzt,daß das Fahrzeug beim Lauf durch Krümmungen den statischen und dynamischen Bedingungen genügt,keine Entgleisung befürchten,weil keine Luft bei Verletzung der Reifen durch Fremdkörper entweichen kann. Anders bei Luftreifen.Bei der Micheline,ein Eisenbahntriebwagen mit Luftgummireifen,verhindert,wie bereits auf Seite 6 erwähnt,beim Entweichen der Luft eine im Innern des Reifens befindliche Holzfelge,daß das Rad um mehr als 15 mm einsinkt,bzw.das diagonal dazu gelegene entgleist. Für Straßenfahrt ist eine solche Felge ungeeignet,weil dabei der Gummireifen sehr oft um mehr als 1 cm plattgedrückt wird und dabei auf die harte Felge aufstoßen würde. Diese muß deshalb in radialer Richtung eine Federung haben,die bei Schienenfahrt ausgeschaltet ist. Das ist jedoch konstruktiv sehr schwierig. Einfacher ist es,die Felge selbst aus einem Stoffe herzustellen, der das seltene Durchschlagen des Rades bis auf die Felge genügend abfedert und trotzdem die Last des Fahrzeuges beim Entweichen der Luft soweit abstützt,daß das Rad bei Schienenfahrt nicht entgleisen kann. Als Baustoff für den Stützring wird Vollgummi vorgeschlagen.

Abb.9 zeigt einen Schnitt durch die Bereifung; a ist der Luftgummi,b der Vollgummiring,der so geformt ist,daß er nach innen die Wandung des Luftgummi stützen kann. Der Vollgummireifen b wird weitaus seltener abzunehmen sein,als der Luftreifen. Die Anordnung wird deshalb so getroffen,daß man den letzteren nach links und rechts abnehmen kann,ohne den Vollgummiring entfernen zu müssen.

Zu b). Abb.10 a und b,die als Prinzipskizzen dienen wollen,zeigen einen Spurkranz,der diese Bedingung erfüllen kann. Bei Schienenfahrt wird das Fahrzeug durch den bei b geteilten Spurkranzring a im Gleis geführt. Er ist mit Federbolzen f an dem Laufrad e befestigt. Der Ring müßte aus sehr zähem,elastischem Material hergestellt werden,das Biegungen und Verdrehungen ohne dauernde Formänderung verträgt. Unter den bisher bekannt gewordenen Baustoffen befindet sich keiner, der diese Eigenschaften hat. Trotzdem soll der Vollständigkeit halber auch dieser Vorschlag konstruktiv entwickelt werden.

Auf der Bremstrommel t sitzt ein kleiner Elektromotor e,der durch ein Sprungritzel (ähnlich wie die vor den Schwungrädern sitzenden Anlassermotoren der Kraftwagen) den Spurkranz Z verdrehen kann. Dies geschieht,wenn das Fahrzeug von der Schiene auf die Straße übergeht. Durch das Drehen des Spurkranzes Z in der angedeuteten Pfeilrichtung wird der Spurkranzring mit Hilfe der Stangen S und den in den Kulissen k gleitenden Bolzen f eingezogen und auf einen kleineren Durchmesser als den des Luftgummi gebracht. Die Gelenke g sollen dies erleichtern.

Da das Rad gegen Erschütterungen abgefedert wird, ist ein Versagen des an sich vielteiligen Mechanismus nicht zu befürchten.Das Verkleinern des Ringdurchmessers durch spiralenförmiges Einziehen des (geteilten) Ringes wird bei Kraftwagenfelgen seit Jahren mit Erfolg angewendet. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen,daß Felgen (Zylinder von geringer Höhe) ein wesentlich kleineres radiales Widerstandsmoment haben als ein Spurkranz der oben beschriebenen Art (Ringscheibe). Man wird deshalb,solange es kein Material der oben beschriebenen Art

gibt,auf den großen Vorteil der Zeitersparnis,den der einziehbare Spurkranz bietet,verzichten und sich mit einem abnehmbaren Spurkranz begnügen müssen.

Der Spurkranzring ist abziehbar auf der Felge des Rades bzw.am Radkörper angeordnet und wird für Schienenfahrt durch Sicherungseinrichtungen in seiner Lage am Rad gehalten und für Straßenfahrt am Wagenkasten oder Kotflügel aufgehängt.

In den Abb.11 mit 17 sind verschiedene Vorschläge wiedergegeben,die aus dem Büro Bäseler in München hervorgegangen sind.

Die Abb.11 a und b zeigen im Querschnitt,Seitenansicht und teilweise Draufsicht einer Luftreifenfelge mit durch Federring gehaltenem Spurkranzring.

Abb.12 zeigt ein Vollgummi- oder Elastikreifenrad im Querschnitt mit Konusfesthaltung des Spurkranzringes.

Abb.13 und 14 zeigen im Querschnitt bzw.Seitenansicht die Befestigung eines Spurkranzringes durch Bügel und federnde Lappen.

Die Abb.15 zeigt eine Luftreifenfelge,an welcher der Spurkranzring durch Bajonettverschluß gehalten wird.

Die Abb.16 zeigt eine Luftreifenfelge mit angewalztem Spurkranzträger,an welchem der Spurkranzring durch einen zweiteiligen Spannring gehalten wird.

Die Abb.17 zeigt einen Vollgummireifen,an welchem der Spurkranzring durch einen Druckring gehalten wird.

Bei der Ausführungsform der Abb.11 a,b ist der Felgenring a seitlich verbreitert zur Aufnahme des Spurkranzringes b, dessen Lage durch den federnden Verschlußring c achsial festgelegt wird. Der Verschlußring c,der den Seitenring d des Luftreifens hält,bildet das reifenseitige Widerlager für

den Spurkranzring, b. Der äußere Verschlußring e,der zur Haltung des Spurkranzringes b dient,ist ein offener Federring mit Nasen f und g an seinen beiden Enden,für welche im Raum der den Verschlußring e aufnehmenden Nut an der Radfelge Aussparungen vorgesehen sind,ebenso wie am Rande des Spurkranzes b,in welche Aussparungen die Nasen f und g eingreifen und dadurch die Tangentialkräfte am Spurkranzring aufnehmen. Die achsialen Führungsdrücke,werden unter elastischer Deformation des im Querschnitt gewellt ausgeführten Spurkranzringes b von den beiden Verschlußringen c und e auf die Felge und Radscheibe übertragen. Die aus dem Führungsdruck am äußeren Rand des Spurkranzringes b resultierenden radialen Drücke werden von diesem unmittelbar auf die Radfelge übertragen. Zur Betätigung des Verschlußringes e ist eine Spezialzange nötig. Mit dieser wird der Verschlußring e zum Aufsetzen des Spurkranzringes b abgenommen,worauf dann der Spurkranzring b bis zum Anliegen am Ring c auf die Felge a aufgeschoben und der Verschlußring e wieder aufgesetzt wird. Bei Straßenfahrt wird der abgenommene Spurkranzring b an Vorrichtungen am Wagenkasten oder Kotflügel aufgehängt,wogegen der Verschlußring e auf die Felge aufgezogen wird.

Der Radkörper des Elastikreifens nach Abb.12 hat auf seiner Innenseite einen Konus i. Entsprechend ist der Spurkranzring b mit einem konischen Flansch h ausgerüstet,der auf den Konus i paßt. Mit Hilfe von Spannschrauben k erfolgt die Anpressung der beiden Konen und dadurch die Festhaltung und Fixierung des Spurkranzringes b am Radkörper.

Bei der Ausführungsform der Abb.11 b und 12 ist der Spurkranzring b an seinem inneren Rand mit einer Mehrzahl angepreßter Durchstechbügel l ausgerüstet,die beim Aufstecken

des Spurkranzringes auf den Radkörper m durch dessen Öffnungen m' hindurchgreifen. Zur Sicherung des Spurkranzringes b in seiner Lage am Rand dient eine Verschlußscheibe n,die auf der Nabe des Rades sitzt und ebensoviele Federlappen o aufweist als Durchstechbügel l vorhanden sind. Die Federkörper o sind so angeordnet,daß sie beim Verdrehen der Scheibe n gleichzeitig in die Bügel n eingreifen und den Ring b unter Federpressung festlegen.

Die Abb.15 zeigt ein Luftreifenrad,bei welchem an den Felgenkörper ein Spurkranzträger p angewalzt ist. Der Spurkranz wird durch einen schmalen Doppelring q gebildet,der an seinem inneren Rand ebenso gezahnt ist wie der Träger p an seinem äußeren Rand,wodurch beide Teile bayonettverschlußartig aufeinandergeschoben und verdreht werden können. Eine Verschraubung dient zur Sicherung der Lage des Spurkranzringes q.

Bei der Ausführungsform der Abb.16 ist ebenfalls an den Felgenkörper der Spurkranzträger p angewalzt. Der Spurkranzring r wird auf den zylindrischen Teil des Trägers p aufgeschoben und durch einen zweiteiligen Spannring s,der in eine Nut t des Trägers p eingreift unter Zwischenlage eines elastischen Ringes u gehalten. Der Ring s wird rohrschellenartig mit Hilfe von Verschraubungen v festgepreßt. Der Träger p weist eine Ringleiste w auf,die die Lage des Spurkranzringes r in Richtung zum Luftreifen zu fixiert.

Bei der Ausführungsform der Abb.17 dient zur Haltung des Spurkranzringes b ein zweiteiliger Winkelring x. Zum besseren seitlichen Anpressen des Spurkranzringes b an den Gummireifen erhält der Spurkranzring auf seinen Umfang verteilt geriffelte Keilrasten,die in entsprechende Gegenrasten

am Haltering x eingreifen und beim Verdrehen des Halteringes die Anpressung des Spurringes besorgen. Bei Landfahrt wird der mit Schnellverschluß und Gegenscharnier leicht zu öffnende Haltering x abgenommen,der Spurkranzring b abgezogen und am Kotflügel oder Wagenkasten aufgehängt,worauf der Haltering x wieder auf das Rad (s.Fig.17) aufgesetzt wird.

Der insbesondere bei ganzen Zügen nicht unbedeutende Zeitaufwand für das Abnehmen der Spurkränze kann durch die Einführung der selbsttätigen Kupplung wieder eingeholt werden.

Die bisherigen Erfahrungen mit gummibereiften Rädern an Eisenbahnfahrzeugen haben gezeigt,daß.es mit Rücksicht auf den Gummi nicht zweckmäßig ist,bei den jetzigen schmalen Schienen den Achsdruck über ca 2 to zu steigern. Die Einhaltung des bis jetzt bei Gummireifen erreichbaren Achsdruckes von 5 to,also eines Raddruckes von 2,5 to,bei genügend breiter Fahrbahn ist jedoch aus verschiedenen Gründen erwünscht. (Wirtschaftliche Achszahl,Erhöhung der Entgleisungssicherheit, Betätigung der Signalkontakte). Ob es gelingt,für Eisenbahnzwecke einen Gummi von solcher Druck= und Hitzebeständigkeit zu schaffen,daß er Raddrücke von 2,5 to auf den Normalschienen ohne Schaden verträgt,ist zweifelhaft. Außerdem ist,wie im Teil B der Arbeit nachgewiesen wird,die Verbreiterung der Fahrbahn wirtschaftlicher als die Erhöhung der Achszahl. Zu diesem Zwecke verwendet man die bereits oben angedeutete

b) Beischiene [x])

Dieser ebenfalls von Dr.Ing.Bäseler und Ing. Dietrich stammende Vorschlag soll ohne Oberbauänderung eine

---

[x]) Des Zusammenhanges und der Vollständigkeit halber wird sie hier beschrieben.

Verbreiterung der Schienenlauffläche und dadurch ein Befahren mit gummibereiften Rädern bei hoher Geschwindigkeit unter größerer Last wie bisher ermöglichen. Die Erfindung besteht aus einer Beischiene von biegungssteifem Walzprofil,die mit Stützen oder dergleichen auf den Unterlagen der Normalschiene befestigt ist.

In der Zeichnung sind verschiedene Ausführungsbeispiele des Erfindungsgegenstandes wiedergegeben.

Abb.18 zeigt im Querschnitt die Anordnung der Beischiene bei Klemmplatten-Oberbau.

Abb.19 zeigt die Draufsicht auf die Befestigungseinrichtung der Beischiene nach Fig.1.

Abb.20 zeigt im Querschnitt die Anordnung der Beischiene bei Stuhloberbau.

Abb.21 die Draufsicht auf die Befestigungseinrichtung nach Abb.20.

Die Anordnung nach Abb.18 und 19 beruht auf einem Rippenplattenoberbau mit einer Fahrschiene 1 von normalem Profil. Die Beischiene 2 besteht aus einem biegungssteifen Walzprofil von in der Hauptsache U-förmiger Querschnittsform, deren Steg eine breite Lauffläche abgibt. Die Beischiene 2 greift mit dem abgebogenen Rand ihres einen Schenkels 3 unter den Kopf der Normalschiene und ist dadurch gegen Hochsteigen gesichert. Die sonstige Befestigung und Abstützung der Beischiene ist mit Hilfe von Flachstahlbügeln 4 durchgeführt, die mit den Rippenplatten 5 aufsitzen und mit Hilfe der Klemmplatten 6 und der Verschraubung 7 festgehalten werden. Die Flachstahlbügel 4 schmiegen sich in das Profil der Beischiene ein. Ein Bügel 8,der mit Hilfe einer Verschraubung 9 gegen

den Flachstahlbügel 4 gepreßt werden kann,übergreift den zweiten Schenkel 10 der Beischiene 2,der ebenfalls am Rand etwas abgebogen ist,und preßt so die Beischiene 2 unter Festhaltung am Flachstahlbügel 4 gegen die Normalschiene 1.

Der Einbau der Beischiene 2 mit dieser Befestigungsart geschieht in der Weise,daß unter die Klemmplatten 6 aller Schwellen die verhältnismäßig ~~flach~~ schmalen Flachstahlbügel 4 eingeklemmt werden,wobei die Klemmplatten 8 und ihre Verschraubung 9 lose sitzen. Die Beischiene 2 word dann durch Einschieben ihres einen Schenkels 3 unter den Schienenkopf auf den Bügel 4 aufgesetzt,wobei ihr breiter,die Lauffläche abgebender Steg horizontal oder nahezu horizontal zu liegen kommt. Hierauf werden die Klemmplatten 8 an dem anderen Schenkel 10 eingehängt und mit ihrer Verschraubung 9 angezogen,was die ganze Befestigungseinrichtung festpreßt.

Für die Befestigungsart der Beischiene 11 gemäß Abb.20 und 4 an Schienenstühlen 12 für Doppelkopfschienen 13 hat die Beischiene 11 ebenfalls eine in der Hauptsache U-förmige Querschnittform,deren Steg wieder die Lauffläche abgibt. Der eine Schenkel 14 der Schiene 11 ist am Rand etwas abgebogen und untergreift den oberen Kopf 15 der Doppelkopfschiene 13. Zur Abstützung der Beischiene 11 und zur weiteren Befestigung dient ein Flachstahlbügel 16,der mit Hilfe einer Schwellenschraube 17 niedergehalten wird und mit Holz= oder Stahlfederkeilen 18 am Stuhl 12 mit der Schiene 13 verkeilt und eingespannt wird. Die unter dem Schienenkopf 15 geschobene Beischiene 11 wird ebenfalls mit einem Keil 19 gegen den Stahlbügel 16 verspannt. Die weitere Haltung der Beischiene 11 am Stahlbügel 16 geschieht wieder mit Hilfe eines Klemmbügels

der den zweiten,abgebogenen Schenkel 21 der Beischiene 11 übergreift und mit einer Verschraubung 22 zum Anpressen der Beischiene 11 an den Bügel 16 und an die Doppelkopfschiene 13 angezogen wird.

Die Vorschriften für den Verkehr mit Kraftfahrzeugen verlangen,daß der Druck auf die Fahrbahn je cm Felgenbreite (Gummibasis) nicht größer als 150 kg,der Gesamtdruck nicht größer als 3 to sein darf,eine Maßnahme,die auch mit Rücksicht auf die derzeit handelsüblichen Reifenprofile wünschenswert ist. Da die Normalschienen ca.70 mm Kopfbreite haben,ergibt sich bei dem oben angenommenen Raddruck von 2500 kg für die Beischiene eine wirksame Breite von $\frac{2500}{150} - 70 = 100$ mm,wenn man vermeiden will,daß der Reifeninnendruck beim Übergang von der Straße auf die Schiene geändert wird.(Die Abb.18 bis 21 sind unmaßstäblich!).

Damit dürften die Konstruktionen,die den Übergang der Fahrzeuge von der Schiene auf die Straße ermöglichen, hinreichend geklärt sein. Es ist nun das Verhalten der neuartigen Räder im Betrieb,insbesondere

c) Das Verhalten beim Lauf durch Gleiskrümmungen

zu untersuchen.

I.) Die Beanspruchung des Spurkranzes und der Bereifung.

Es leuchtet ein,daß die oben beschriebenen Spurkränze nicht mit den im bisherigen Eisenbahnbetrieb gewohnten Richt-

kräften (Die "Richtkraft" [10]) ist die wagrechte Komponente des Spurkranznormaldruckes) belastet werden können. Die Richtkraft läßt sich überschlägig nach der Beziehung P = 2 Qf bestimmen,wobei

P = Richtkraft in t,

Q = Raddruck in t,

f = Reibungszahl der gleitenden Reibung zwischen Rad und Schiene.

Die Beziehung setzt also ein Gleiten des Rades voraus. Dieses Gleiten tritt bei vollkommen starren Achsen, bei dem praktisch keine Deformation zulassenden Stahlrad sofort beim Einfahren des Fahrzeugs in eine Krümmung ein. Anders bei dem neuartigen Gummirad,insbesondere bei dem Luftgummirad. Dieses wird,bevor es zu gleiten beginnt,sich deformieren. An Stelle der Gleitung tritt eine Walkung,an Stelle der Gleitwege treten die Walkwege. Die Gleitung muß bei Rädern mit Gummibereifung vermieden werden,da sie der Bereifung sehr schadet und außerdem selbst unter Annahme eines geringen Raddruckes von 600 - 1000 kg infolge der dreimal so großen Reibung als bei Eisen,die Spurkranzdrücke nicht viel geringer werden als bei den bisherigen Fahrzeugen. Das will man aber umgehen. Bei Stahlrädern wird also ein Gleiten ohne weiteres in Kauf genommen (Abb.22). Die auftretenden Gleitkräfte sind dann die Grundlage für die Ermittlung des Spurkranzdruckes, von dem die Richtkraft in einfacher Weise abhängt. Die Größe der Gleitwege spielt hierbei keine Rolle.

Anders bei gummibereiften Rädern. Das Zunehmen des Spurkranzdruckes bis zu einem Höchstwert von ca. P = 2 Qf kann der nach einer bestimmten Charakteristik zunehmenden

---

10) Bäseler,"Die Spurkranzreibung",Organ 1927,Heft 18.
Heumann,"Zum Verhalten v.Eisenbahnfahrzeugen in Gleisbögen",Organ 1913,S.104. Organ 1927,S.527

Belstung einer Feder gleichgestellt werden; der Gummi spielt hierbei die Rolle einer Feder,der Anteil der Zugkraft,der den in den verschiedenen Krümmungen verschieden starken Gesamtlaufwiderstand zu überwinden hat,die Rolle der Federbelastung. Die Richtkraft ist gleich jener "Rückstellkraft"= Komponente, mit welcher der Gummi den Spurkranz in die Anfangsstellung (= Stellung bei P = 0) zurückzuziehen sucht. Legt man diesen Betrachtungen einen Wagen mit zunächst zwei steifen Achsen mit festen Rädern zugrunde,so verhält sich dieser in der Kurve wie ein Kasten,an dem sich ein von der Zugkraft herrührendes Wendmoment M_W und 4 an den Ecken angreifende Federn F_{1-4} das Gleichgewicht halten sollen(Abb.23). Es ist nun vor allen Dingen die Größe der Walkwege in verschiedenen Krümmungen wissenswert. Denn davon hängt wiederum ab

1.) die Wahl der Bereifungsart

2.) die Größe des Spurkranzdruckes.

Ihrer Ermittlung wird erst der kleinste,auf den deutschen Haupt= und Nebenbahnen vorkommende Krümmungsradius von R = 180 m mit Spurerweiterung,dann ein Krümmungsradius von 300 m ohne Spurerweiterung,ein Fahrzeug mit steifen Achsen, fest damit verbundenen Rädern,veränderlichem Achsstand und zylindrischen Radreifen zugrunde gelegt,da die Kegelform der Radreifen selbst bei Stahlrädern schon nach kurzer Zeit durch Abnützung verloren geht und bei Gummirädern infolge der plastischen Eigenschaft des Gummi von vorneherein zwecklos ist. Wir nehmen an,daß das Fahrzeug mit der vorauslaufenden Achse an der Außenschiene und mit der hinteren Achse an der Innenschiene anläuft; damit ist die Stellung des Fahrzeugs gegeben. Für die Polweite gilt folgende Beziehung:

$$x = \frac{1}{2} + \sigma \frac{R}{l} \quad ^{11)}$$

x = Polweite = Entfernung des Reibungsmittelpunktes von der ersten Achse

l = Radstand des Fahrzeuges

σ = Spiel im Gleis = 11 mm = 0,011 m

R = Krümmungsradius

e=Spurerweiterung.

Es wird angenommen,daß die Art der Berührung zwischen Rad und Schiene eine Flächen-Punktberührung ist (Flächenberührung zwischen Lauffläche und Schiene,Punktberührung zwischen Spurkranz und Schiene). Da jedoch diese Flächenberührung auf die nachfolgende Ermittlung vorderhand keinen Einfluß hat, nimmt man vereinfachend an,daß die Berührung zwischen Lauffläche und Schiene ebenfalls in einem Punkt stattfinde - Zweipunktberührung - .

Um die Vorstellung von der Größe der Längs= und Querwalkwege zu erhalten,nehmen wir ferner den einfachsten Fall an, daß der Raddruck auf allen Rädern gleich sei und daß der Spurkranz durch Druckrollen,die die seitliche Führung übernehmen, ersetzt sei. Dann liegt der Reibungsmittelpunkt stets auf der Fahrzeuglängsachse.

Nach einfachen Überlegungen ergibt sich dann der

Längswalkweg $$dw_l = \frac{s}{2} \cdot d\varphi$$

und der Querwalkweg

$$dw_q = x \cdot d\varphi$$

In Zahlen ergibt sich dann unter der Voraussetzung, daß der Winkel $d\varphi$ eben einer Fortschrittsbewegung um eine Radumdrehung entspräche,ein Längswalkweg von

---

11) Uebelacker,"Untersuchungen über d.Bewegung v.Lok.mit Drehgestellen in Bahnkrümmungen",Organ 1903,Beilage.

$dw_l = \frac{s}{2} \cdot \frac{2\,r\pi}{R}$ und der Querwalkweg zu

$dw_q = x \cdot \frac{2\,r\pi}{R}$ (vergl.Abb.22).

Für die Spurweite s = 1,5 m und einen Raddurchmesser von r = 0,5 m bekommt man bei verschiedenem Radstand die in den Zusammenstellungen 2 a und 2 b angeführten Werte.

I.) für R = 180 m und r = 0,5 m; $\frac{2\,r}{R} = 0{,}0174$;

$\frac{s}{2\,R} = 0{,}00417$;

a) Mit Spurerweiterung nach alter Vorschrift (e = 29 mm)

$\sigma = \sigma + e = 0{,}011 + 0{,}029 = 0{,}04$ m;

(s.Zusammenstellung 2 a) (Abb.25.)

(Der kleinste nach TV §83,5 zulässige Achsstand führender Achsen beträgt 3,5 m).

Zusammenstellung 2 a.

l (m)	$\sigma' \frac{R}{l}$	x (m)	dw_l (mm)	dw_q (mm)	dw'_q (mm)
4,5	1,6	3,85	26,2	67,0	3,4
6,0	1,2	4,2	"	73,0	3,66
7,5	0,96	4,71	"	82,0	4,1
9,0	0,8	5,3	"	92,2	4,62
10,0	0,72	5,72	"	99,5	5,0

b) Mit Spurerweiterung nach neuer Vorschrift (e = 9 mm)

$\sigma = \sigma + e = 0{,}011 + 0{,}009 = 0{,}02$ m

(s.Zusammenstellung 2 b) (Abb.25.)

Zusammenstellung 2 b.

l (m)	σ'^{R}_{l}	x (m)	dw_l (mm)	dw_q (mm)	dw'_q (mm)
3,0	1,2	2,7	26,2	48,0	2,35
4,5	0,8	3,05	"	53,0	2,65
6,0	0,6	3,6	"	62,7	3,14
7,5	0,48	4,23	"	73,5	3,7
9,0	0,4	4,9	"	85,0	4,3
10,0	0,36	5,36	"	93,5	4,7

II.) R = 300 m (ohne Spurerweiterung), (s. Zusammenstellung 3) Abb.25.

$$\frac{2r}{R} = 0{,}0105; \quad \frac{s}{2R} = 0{,}0025;$$

Zusammenstellung 3.

l (m)	σ'^{R}_{l}	x (m)	dw_l (mm)	dw_q (mm)	dw'_q (mm)
4,5	0,733	2,983	15,8	31,4	1,56
6,0	0,55	3,55	"	37,3	1,86
7,5	0,44	4,19	"	44,0	2,2
9,0	0,367	4,867	"	51,0	2,55
10,0	0,33	5,33	"	56,0	2,8

Die Walkwege dw_l und dw_q, die wir hier für eine ganze Radumdrehung berechnet haben, verteilen sich gewissermaßen auf den ganzen Radumfang. Daraus versteht man, daß die Gleitwege, auf den im Zeitelement dt zurückgelegten Winkel $d\varphi$ beim Stahlrad sehr klein sind. Anders beim Gummirad: Wir haben durch die

flächenhafte Auflage sofort nach Beginn des Drehens einen von der Länge der Auflagefläche abhängigen "statischen" Rollwinkel $d\varphi$ und einen entsprechenden Walkweg, zur Unterscheidung von den anderen mit dw_q' bezeichnet. Seine Ermittlung wird weiter unten erklärt.

Was die Längswalkwege betrifft, so ist zu bedenken, daß Fahrzeuge auf der Straße Krümmungen bis zu 20 m Radius zu durchfahren haben, sodaß die Verschiedenheit der Längswege zwischen dem innen und dem außen laufenden Rade wie beim gewöhnlichen Kraftwagen durch lose auf den Achsstummeln sitzende Räder, also durch eine Verschiedenheit der Umdrehungszahl ausgeglichen werden muß.

Es liegt hier derselbe Fall vor, wie ihn Dr. Ing. Bäseler in seiner Abhandlung "Die Spurkranzreibung" für einen vierachsigen Wagen mit parallel zum Rahmen geführten Achsen, losen Rädern, jedoch eisernen Bandagen untersucht hat. Er beweist, daß hierbei keine Längs= sondern nur mehr Quergleitwege= und Kräfte auftreten. Auf unsere Verhältnisse übertragen heißt das, daß die Längswalkung aus unserer weiteren Betrachtung ausscheidet. Wir erhalten nur mehr

Q u e r w a l k w e g e , wenn man voraussetzt, daß die für die Straßenfahrten notwendige Vorderradlenkung verriegelt ist. Eine gewisse Längswalkung wird zwar trotz der losen Räder noch auftreten, sie ist aber nicht auf die Fahrzeugstellung, sondern auf andere Einflüsse zurückzuführen. Es muß jetzt untersucht werden, wie die oben entwickelte Beziehung zur Bestimmung des Querwalkweges praktisch angewendet werden kann. Dazu müssen jedoch erst noch die Berührungsverhältnisse zwischen Rad und Schiene betrachtet werden. Abb. 24

(keine losen Räder) zeigt das Verhalten eines anlaufenden Rades in der Krümmung in stark verzerrtem Maßstab. Es ist dabei vernachlässigend angenommen,daß das Rad auf der Schiene nicht flächenhaft,sondern punkthaft aufliegt,ferner,daß Spurkranzdruckpunkt und Auflager zusammen in einer zur Fahrzeuglängsachse senkrechten Ebene liegen. Die letztere Annahme ist, wie sich leicht nachweisen läßt,für das praktische Ergebnis zulässig.

Wir haben folgende Auflagerverhältnisse: In der Geraden wird die Auflagerfläche die in Abb.26,in der Krümmung durch die Wirkung der Seitendrücke die in Abb.27 dargestellte Form haben. M M' sei die Mittelachse des Reifens, A A' die große Achse der Auflagerellipse,df ein auf der Mitte dieser Achse sich befindendes Gummiteilchen. Erfahrungsgemäß beträgt der Rolldurchmesser bei Gummireifen durchschnittlich das 0,975-fache des Nenndurchmessers. Dieser beträgt 1 m. Die Länge der Sehne A A' = g ist die Bogenlänge des auf Seite 30 erwähnten Winkels $d\varphi$ (s.Abb.22),die auch durch den hiezu gehörigen Radwinkel $d\psi$ ausgedrückt werden kann. Man erhält:

$$A\,A' = g = r \cdot d\psi = R \cdot d\varphi = 2\,r \cdot \sin\frac{\psi}{2};$$

$$\sin^2\frac{\psi}{4} = \frac{h}{2r}\text{ ,wobei h = Bogenhöhe = 0,025 m;}$$

$$\sin\frac{\psi}{2} = \sqrt{\frac{h}{2r}}\text{ : somit } g = \sqrt{2\,r\,h} = \sqrt{0{,}025}\text{ ; g = 157 mm.}$$

(vergl.auch Heumann,"Die Reibung zwischen Rad und Schiene im Gleisbogen",Organ 1932,Seite 105).

In der Krümmung wird infolge des seitlich wirkenden Spurkranzdruckes und der Haftung des Gummis auf der Schiene das Gummiteilchen df um den Betrag dw_q,(Walkweg) nach der

Seite gezogen werden. Diese Eigenschaftwollen wir als Querfederungsvermögen bezeichnen. Die Stärke der Krümmung ist dabei der Deutlichkeit halber in der Abbildung übertrieben. Man kann deshalb auch $dw_q'' = dw_q'$ setzen,weil sie in Wirklichkeit sehr flach ist.

Man kann weiter vereinfachend annehmen,daß trotz der Verformung der Auflagerfläche ihre Länge dieselbe bleibt, weil der Querwalkweg immer sehr klein ist. Nach den obigen Voraussetzungen erhält man dann:

$$dw_q' = \alpha \cdot R\, d\varphi = \alpha \cdot g = \frac{x}{R} \cdot g = 157\,\frac{x}{R};$$

Die bei verschiedenen x und verschiedenen R resultierenden dw_q' sind aus den Zusammenstellungen 2 a,2 b und 3 ersichtlich.

Durch die Elastizität des Gummis wird die Gestalt der Auflagerfläche nicht mehr ellipsenförmig,sondern linsenförmig sein. Außerdem wird in dem Gummiteilchen eine potentielle Kraft dG aufgespeichert,die nach dem Verlassen der Schienenoberfläche wieder frei wird,d.h.das Teilchen df wieder in seine Ausgangslage zurückzieht. Dieses dG ist umso größer,je größer dwq'ist,da wir es hier mit ähnlichen Vorgängen wie bei dem An= und Entspannen einer Feder zu tun haben.

Das betrachtete Teilchen ist jenes mit dem größten ds,also auch mit dem größten dG. Es befinden sich auf der Strecke A A' verteilt noch mehrere solcher Gummiteilchen,die jedoch ein von der Mitte nach A und A' bis O abnehmendes dwq' und damit dG aufweisen,also an die resultierende G sämtlicher dG geringere Teilbeträge liefern als das vorbetrachtete df. Als Resultat dieser Betrachtung bekommt man: $\sum_{A}^{A'} dG = G.$

Für die praktischen Untersuchungen des Querfederungsvermögens verschiedener Bereifungen genügt es, wenn man $\sum dG = \sum dG' = G$ setzt, sich also sämtliche dG in einem df, und zwar in jenem mit dem größten Querfederungsweg dwq' angreifend denkt. Je größer diese ist, je mehr die Bereifung also nachgibt, desto länger dauert es, bis das Rad zum Quergleiten kommt.

Die Reifenfahrzeuge und die Größe des Spurkranzdruckes.

Man unterscheidet 4 Reifenarten:

1.) Der Vollgummireifen hat das geringste Federungsvermögen von allen Sorten; er hat meist (Abb.28) halbkreisförmigen Querschnitt ohne jede Aussparung und ist auf eine Stahlfelge aufgezogen.

2.) Der hochelastische Kissenreifen besitzt größere Ausweichmöglichkeiten des Gummikissens, da er in kurzen Abständen Aussparungen und außerdem im Innern Luftkammern hat (Abb.29).

3.) Der Hochdruck = (Innendruck 8 at) und

4.) Der Niederdruck = (Innendruck 3,5 at) oder Ballonreifen verwendet an Stelle des Gummikissens ein Luftkissen. (Abb.30,31).

Die Abb.32 zeigt die "Querfederungs-Charakteristiken" dieser 4 Sorten. Daraus läßt sich ein Wert $c = \frac{G\ (kg)}{dwq'\ (mm)}$ ableiten, der als "Querfederkonstante der Bereifung" bezeichnet werden soll und ein Maß für die Nachgiebigkeit des Gummis darstellt. Damit wird, solange tatsächlich ein Gleiten des Rades vermieden wird, die Bestimmung des Gleichgewichtes eines Fahrzeuges in der Gleis-

krümmung eine rein geometrische Aufgabe; sie beschränkt sich auf die Bestimmung der Querwalkwege,aus denen mit Hilfe der Federungskennlinien die Seitendrücke ermittelt werden können. Darnach bekommt man für die im Fahrzeugbau am häufigsten vorkommenden Radstände von 4,5 und 6,0 m bei einem Raddurchmesser von 1 m und einem Achsdruck von 5 to folgende Seitendrücke am Spurkranz:

Zusammenstellung:

Radstand 4,5 m

Krümmungsradius R(m)	Querwalkweg dw_q (mm)	Seitendruck S(kg)			
		Ballon	Kissenr.	Hochdr.	Vollgumi
180 m,e = 29 mm	3,4	200	280	320	350
180 m,e = 9 mm	2,65	160	220	260	290
300 m,e = 0 mm	1,56	100	120	130	150

Radstand 6,0 m

180 m,e = 29 mm	3,66	210	320	360	390
180 m,e = 9 mm	3,15	190	250	290	320
300 m,e = 0 mm	1,86	120	180	210	230

Darnach steht der Kissenreifen an zweiter Stelle. Da er außerdem betriebssicherer als der Luftreifen ist,wäre er für den Eisenbahnbetrieb besonders geeignet,wenn ihm andererseits nicht große Mängel anhaften würden. Zunächst wird vom Standpunkt des Straßenverkehrs eine Bereifung vor allem nach ihrem Arbeitsvermögen bewertet. Darunter versteht man die Eigenschaft eines Reifens,Wegunebenheiten und =hindernisse in sein Volumen "einzubetten". Hinsichtlich seiner Größe wird es bestimmt durch das Produkt des Volumens des im Reifen

eingebetteten Hindernisses mal Bodenpressung; es findet seinen Ausdruck in der Zunahme der im Reifen aufgespeicherten Arbeit infolge einer Mehrbelastung und ferner in der Größe der Stoßziffer. Dies ist jene Zahl,mit der die statische Radlast vervielfacht werden muß,um die dynamische Radlast,also die bei der Fahrt auftretenden Stoßkräfte zu erhalten. Nachstehend sind die Arbeitszunahmen je 1000 kg Mehrlast und die Stoßziffern für die verschiedenen Reifensorten angegeben: [12])

	Stoßziffer:	Arbeitszunahme je 1000 kg Mehrlast:
Vollgummi	4,1	4 - 8 mkg
Kissengummi	2,3	8 - 12 mkg
Hochdruckluftreifen	1,4	15 - 23 mkg
Niederdruckluftreifen	1,15	bis 60 mkg

Man sieht,wie schlecht bei diesem Ergebnis der reine Vollgummi wie auch der Kissenvollgummi gegenüber den anderen Arten abschneidet. Aus diesem Grunde ist der Vollgummi nach der Verordnung über den Kraftfahrzeugverkehr vom 16.III.1928 (Reichsgesetzblatt Teil I,Seite.91) mit Rücksicht auf die Schonung des Straßenoberbaues nur mehr in sehr beschränktem Maße auf den öffentlichen Straßen verwendbar.(Zugelassen nur mehr für Kraftfahrzeuge mit weniger als 3 to Eigengewicht und 12 km/h Höchstgeschwindigkeit).

Nun könnte man sich mit dieser Maßnahme abfinden und die Wagen,soweit sie dem Güterverkehr dienen,auf der Landstraße mit solch geringer Geschwindigkeit,auf der Schiene dagegen mit den im Eisenbahnbetrieb üblichen Geschwindigkeiten laufen lassen. Untersuchungen haben aber gezeigt,daß der Vollgummireifen sich für Geschwindigkeiten über 40 km/h

---

12) Prof.Dr.Becker,"Autoluftreifen",Seite 22,24,30,32.
" " " " ,Seite 62.

wegen zu starker Erwärmung nicht eignet. Die damit verbundene Abnützung verkürzt die Lebensdauer der Vollgummireifen gegenüber den Luftreifen um ca.40 %. Aber schon im Güterverkehr haben sich viel höhere Geschwindigkeiten als wirtschaftlich erwiesen,wenn auch zugegeben werden muß,daß die technisch mögliche Höchstgeschwindigkeit wohl mit Rücksicht auf die Zug-Förder=,nicht aber auch auf die Zug-Bildungs-Kosten die wirtschaftlichste ist. Es soll jedoch hier schon angedeutet werden,daß gerade die Zugbildungskosten durch das neue Fahrzeug eine wesentliche Änderung erfahren haben. Schließlich ist zu bedenken,daß die Erkenntnis der schädlichen Wirkung der Verkehrserschütterung auf die Gebäude von Tag zu Tag klarer wird. Es ist zu erwarten,daß deshalb die Maßnahmen für einen möglichst erschütterungsfreien Lauf der Fahrzeuge vielleicht schon in kurzer Zeit verschärft werden. Dann sind durch eine zweifellos damit verbundene hohe Besteuerung oder ein gänzliches Verbot der Vollgummi ihre ohnedies fraglichen Vorteile mehr als ausgeglichen.

Man wird deshalb vorderhand aus den oben angeführten Gründen Luftreifen verwenden,wie sie bei der Micheline Anwendung gefunden haben.

Wie aus der Zusammenstellung 2 hervorgeht,benötigt ein zweiachsiger Wagen mit festen Achsen 0,5 m Rollhalbmesser und einen für Eisenbahnfahrzeuge üblichen Radstand von 4,5 oder 6,0 m in einer 300 m Kurve Querfederungen bis zu rd.2mm.

Dabei ist zu berücksichtigen,daß der Rolldurchmesser wegen der Fahrten auf der Straße,nicht kleiner gewählt werden kann. So betragen bei den gummibereiften Fahrzeugen, die bis jetzt gebaut wurden (Michelin,Budd-Omnibus in U.S.A.)

und nur für Fahrten auf der Schiene vorgesehen sind,die Reifendurchmesser zwischen 0,75 und 0,8 m.

Die in Abb.32 gezeigten Querfederungscharakteristiken gelten für einen Achsdruck von Pa = 5000 kg. Für diese Last bekommt man unter Annahme von Hochdruckluftreifen bei einer seitlichen Schubkraft von 1800 kg eine maximale Querfederung von 32 mm. Über diesen Betrag hinaus würde Gleiten eintreten.

Beim Durchfahren von Krümmungen mit 180 m Radius erhält man bei 6,0 m Radstand 1,0 m Raddurchmesser,Querfederungen nur bis zu ca.3,7 mm; das entspricht einem Spurkranzdruck (seitlichen Druck) von ca.400 kg bei Vollgummi und 320,bzw. rd 210 kg bei Kissen= bzw.Niederdruckluftreifen. Ebenso groß muß auch die seitliche Haftreibung sein,wenn ein Gleiten nach der Seite vermieden werden soll. Der Mindestreibungsbeiwert muß also im ungünstigsten Falle $\mu_q = \frac{400}{5000} = 0{,}08$ betragen. Erfahrungsgemäß beträgt der Reibungswert μ von Gummi auf Eisen selbst bei feuchten Schienen ca.0,1 - 0,5. Nach unseren Voraussetzungen steht dieser Wert in seiner ganzen Größe der seitlichen Haftreibung $H_r = H_q = \mu . Q$ zur Verfügung (Abb.33a) wobei Q der Raddruck ist. Der Reibungskreis mit dem Radius H_r stellt die Grenze der Haftreibung dar. Darüber hinaus findet Gleiten statt. Es muß also stets sein $H_r \leqq \mu . Q$. Zur Querkraft H_q kommt tatsächlich in Längsrichtung noch eine Kraft H_ℓ; dann ist,wie Abb.33 b zeigt, H_q umso kleiner,je größer H_ℓ ist. H_ℓ wird jedoch nie so groß werden,daß das Rad seitwärts gleitet, weil durch den Spurkranz stets $\mu = 0{,}08$ ist.

Ebenso,wie die oben angegebenen Querfederungen von sämtlichen Reifenarten ertragen werden können,sind die Spurkränze der angeführten Formen (siehe unter I,4) kräftig genug,

die auf sie in den Krümmungen wirkenden seitlichen Kräfte aufzunehmen. Wenn sie auch wesentlich schwächer sind als die aus dem Vollen gedrehten Spurkränze der bisherigen Stahlräder, so ist doch zu bedenken,daß diese das rund 10-fache von Seitendrücken aufzunehmen haben (bei einer Radlast von Q = 7,5 t und einem Reibungswert von μ = 0,25 ergibt sich bei nicht radial stehenden Achsen eine Richtkraft von rd.4000 kg). Außerdem sind die bei Schlingerbewegungen bei Fahrten in der Geraden und beim Einfahren in Krümmungen auftretenden dynamischen Seitendrücke auch aufzunehmen,obwohl sie oft größer als nur 4 - 500 kg sind.

Bereifung und Spurkranz hindern also nicht,das Fahrzeug unter Voraussetzung der oben angenommenen Radstände mit steifen Achsen zu versehen. Es ist nachzuprüfen,ob dies auch

II.) die Entgleisungssicherheit

zuläßt. Diese besteht erfahrungsgemäß noch,wenn

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}}}{\mu_2 + \operatorname{ctg} \beta}$$ [13]

Darin bedeuten (die angegebenen Werte beziehen sich auf den ungünstigsten Fall,also Vollgummi,6,0 m Radstand, R = 180 m, Spurerweiterung e = 29 mm usw.) :

Y =	= G	= seitlicher Führungsdruck	= 400 kg
Q =		Raddruck	= 2500 kg
a =		Lages des Spurkranzdruckpunktes unter S.O.(bei Radgrößen v.0,85-2,1 m u.Anlaufwinkel v.0-2°)	~ 8 mm
b =		Spurkranzdruckpunktvorverlegung	≅ 19,6 mm

13) "Beziehungen zw.Fahrzeug u.Gleis" Monatsschr.d.Int.Eisenb.Kongr.Ver.1932 Heft 11.

β = Neigungswinkel der Spurkranzflanke = 60°

μ_e = Reibungswert zw. Spurkranz u.Schiene (Eisen auf Eisen) = 0,16;

a ist so groß angenommen wie bei Eisenrädern,a und b sind vom Anlaufwinkel abhängig.

Die Entgleisungssicherheit ist nach obiger Beziehung umso größer,je größer β ist. Nach Untersuchungen von Bäseler [14]) erhöht sich jedoch der Bogenwiderstand um 140 % und dadurch der Spurkranzverschleiß,wenn man z.B.den Flankenwinkel von 60° auf 75° erhöht. Es ergab sich im Laufe der Erfahrungen ein optimales $\beta = 60^{\circ}$,das auch bei unseren Spurkränzen angewandt wurde. Darnach ergibt sich ein

$$\frac{Y}{Q} = \frac{400}{2500} = 0{,}16 \quad \text{und ein}$$

$$\frac{\sqrt{1+\frac{a^2}{b^2}}}{\mu_e + \operatorname{ctg}\beta} = \frac{\sqrt{1+\frac{64}{388}}}{0{,}16 + 0{,}58} = 1{,}46\,;$$

die Entgleisungssicherheit beträgt demnach rd.900 %.

Diese theoretischen Ermittlungen lassen also in der Verwendung von steifen Achsen keine Schwierigkeiten erkennen. Nun hat sich bei Fahrten mit den bisher vorhandenen Schienenomnibussen mit gummibereiften Rädern (Micheline,Budd) gezeigt,daß der Spurkranzverschleiß ziemlich groß ist. Abgesehen davon,daß trotz der Verwendung von Drehgestellen die Anlaufverhältnisse bisweilen ungünstig sein können (Spießgangstellung der Drehgestelle),dürfte diese starke Abnutzung noch in folgenden Erscheinungen ihre Ursache haben: Die bisherigen

14) Bäseler,ZVDEV 1929,Seite 372.

Stahlradsätze führten sich im Gleis selbst durch die Konizität der Radreifen im neuen Zustande und später durch die Hohlkehle, sogar bei Zweipunktberührung (Radaufstandspunkt - Spurkranzdruckpunkt). Diese hohlkehlenartige Wirkung und damit die Eigenführung entfällt hier. Der Spurkranz wirkt lediglich als Begrenzung,die schlagartig erreicht wird und infolge Fehlens der Kegelform der Reifen dauernd an der Schiene bleiben und sich dort auch immer etwas reiben wird [15]). Ob dies die wahre Ursache für den übermäßigen Spurkranzverbrauch ist,läßt sich allerdings nicht rechnerisch,sondern nur durch Versuche ermitteln. Bestätigen sie diese Beobachtung,so muß eine zwangsläufige Steuerung der nachbeschriebenen Art dem Fahrzeug eine genügende Führung geben. Die Kosten einer solchen würden durch die Einsparung von Spurkränzen bald ausgeglichen sein. - Es ist aber auch möglich,daß die im Verhältnis zum Stahlrad ziemlich großen vertikalen Bewegungen, die der Spurkranz infolge der Nachgiebigkeit der Bereifung gegen die Schiene ausüben kann,eine Hobelwirkung und damit den erhöhten Verschleiß verursachen. In diesem Falle müßte dieser Nachteil durch technologische Mittel (Materialauswahl) behoben werden.

Die Radialeinstellung wird durch eine besondere,nach Abb.34 für Dreiachser (mit weniger als 3 Achsen kann man keine zwangsläufige Steuerung herbeiführen) ausgebildete,für Schienen= und Straßenbetriebe kombinierte Steuerung herbeigeführt. Bei Fahrten auf der Straße wird durch das Handrad über den Hebel b das Steuergestänge betätigt; bei Schienenfahrten wird das Handrad durch Ausschwenken des Hebels b außer Betrieb gesetzt. Die Radialstellung in den Krümmungen wird durch die Seitenverschiebung der von den beiden Endachsen gleichweit entfernten Mittelachse herbeigeführt,die zugleich zur Aufnahme des Kraftantriebes

---

15) Bäseler,"Die Eisenbahn auf Gummi", ZVDEV 1932.S.997 uff.

dienen kann. Genaue Untersuchungen über das Verhalten radial gesteuerter Eisenbahnfahrzeuge (mit Stahlrädern) wurden bereits früher durchgeführt.[16])

Noch aus einem anderen Grunde kann die Radialsteuerung bei diesen Krümmungen von Vorteil sein. Da der Antrieb nach früheren Ausführungen über ein Differentialgetriebe erfolgen muß,so wird [17]) das Drehmoment des Motors in jedem Augenblick unabhängig von den Geschwindigkeiten der beiden Achshälften je zur Hälfte auf die beiden Räder eines Radsatzes übertragen. Lediglich die Leistungen der beiden Radsatzhälften verteilen sich im Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten der abführenden Halbwellen (vermöge der dazwischengeschalteten Kegelradübersetzung). Läuft nun bei einem Fahrzeug mit festen Achsen das Außenrad an der Schiene an,so erfährt es infolge der Spurkranzreibung,die nach früheren Untersuchungen ca.50 % der Gesamtreibung beträgt,einen zusätzlichen Widerstand gegenüber dem innen laufenden Rad. Das letztere kann infolgedessen schneller laufen,dadurch mehr Motorleistung übernehmen und zu gleiten anfangen. Das Drehmoment sinkt dabei gemäß obigen Voraussetzungen auf beiden Seiten,sodaß das Fahrzeug in solch ungünstig gelagerten Fällen zum Stehen kommen kann. Ein ähnlicher Vorgang spielt sich ab bei Kraftfahrzeugen,die mit einem der beiden angetriebenen Hinterräder an einem Hindernis (Bodenunebenheit oder dergl.) hängen bleiben oder bei der Anfahrt von elektrischen Lokomotiven mit Einzelantrieb,wenn sämtliche Motoren in Reihe geschaltet sind und ein Treibradsatz zu schleudern beginnt. Dadurch sinkt infolge der Reihenschaltung

---

16) Pöhner, Verkehrstechnik 1930, Seite 297.
17) Steinfurth, Verkehrstechnik 1930, Seite 297.

nicht nur bei diesem Motor,sondern auch bei allen anderen der Strom und damit das Drehmoment,sodaß der Zug nur mit großer Mühe beschleunigt werden kann. Wenn nun auch bei Fahrzeugen mit Gummibereifung die nützliche Reibung so groß ist,daß ein Schleudern in denseltensten Fällen eintritt,so kann doch der Spurkranzwiderstand gelegentlich zu Schwierigkeiten führen, die durch die Radialsteuerung ohne weiteres vermieden werden können.

5. Die Bremsen.

Außer der oben erwähnten Motorbremse wird eine auf alle vier Räder wirkende Luftbremse verwendet. Die Bremsluft erzeugt ein von der Motorwelle angetriebener Luftpresser,bei Stillstand des Motors liefert sie ein Hilfsluftkessel. Die Bremsung erfolgt nach dem heute allgemein üblichen Prinzip der Radialpressung.

Abgesehen davon,daß hier die Anwendung einer Trommelbremse mit Rücksicht auf die Bereifung und die bessere Wärmeabführung notwendig ist,bietet sie den Vorteil geringen Gewichtes, weil die Bremskraft nahezu dort erzeugt wird,wo sie gebraucht wird und dadurch die schweren Ausgleichs- und Übertragungshebel entfallen. Das Bremsaggregat einschl.Bremszylinder wird am Fahrgestell aufgehängt,um die ungefederten Massen gering zu halten. Von den Bremszylindern wird die Bremskraft durch leichtes Gestänge auf die Trommeln übertragen [18]).

Damit ist die Entwicklung der Hauptteile für die in

---

18) "Druckluftbremsen", Automobiltechnisches Handbuch 1931, Seite 430.

Abb.38 und 39 gezeigten Fahrzeuge abgeschlossen. Abb.38 stellt einen Wagen mit festen,Abb.39 einen Wagen mit gesteuerten Lenkachsen und kombinierter Steuerung dar; alle übrigen Einzelheiten können aus Zusammenstellung 4 ersehen werden.

II) Die Zugfahrzeuge.

1. Die Wagen ohne Kraftantrieb.

sind im Aufbau einfacher,als jene der Gruppe II,2. Aus diesem Grunde wurde der in Abb.40 gezeigte Entwurf zuerst fertiggestellt.

a) Der Wagenkasten.

ist für die Beförderung von Gütern vorgesehen,weil es selten vorkommen wird,daß ein Personenspitzenverkehr,wie er bei großen Festen und Versammlungen auftritt,dorthin bedient werden muß,wo kein Bahnanschluß vorhanden ist. Die Ausflügler der Großstädte wollen,soweit es sich um große Massen handelt,meist nur in die Nähe ihres Endzieles gelangen und dann wandern. Das Bedürfnis, Züge zu fahren,die von Station zu Station Wagen abgeben und zum Empfänger einzeln weiterschicken,liegt deshalb hauptsächlich im Güterverkehr vor. Aus diesem Grunde kann der Wagenaufbau wie bei den Lastkraftwagenanhängern aus festen,mit Stahlbändern beschlagenen Brettern hergestellt werden. Die Seitenwände sind aufklappbar. Die übrigen Einzelheiten zeigt Abb.40 und.Zusammenstellung 4.

b) Der Rahmen mit der Zug= und Stoßvorrichtung.

Dieser Bauteil hat schon von Beginn der Eisenbahn an und später,als die Züge länger wurden,eine große Rolle gespielt.

Eingriffe in die Gesetze der Eisenbahnbau= und Betriebsordnung werden sich hier nicht umgehen lassen,weil das besonders in Europa durchwegs gebräuchliche System der getrennten Zug= und Stoßvorrichtung mit einem Gewicht von rund 2 Tonnen für unsere Zwekke zu schwer ist. Ob die Schraubenkupplung mit Seitenpufferung auch für den bisherigen Eisenbahnbetrieb die beste Lösung war, wollen wir hier nicht untersuchen. Aber bekanntlich streitet man ja in dieser Frage schon seit vielen Jahren. In Deutschland hat man für die Übertragung der Zugkräfte durchgehende Zugstangen vorgeschrieben und diese mit einer Federung von geringem Arbeitsvermögen ausgestattet,um ein möglichst stoßfreies Anfahren zu erzielen. Für die Aufnahme der besonders beim Rangieren auftretenden Stoßkräfte hat man Seitenpufferfedern mit großem Arbeitsvermögen vorgesehen. Damit wurde die Seitenpufferung für die Güterwagen ein für die rasche Zugbildung auf den Verschiebebahnhöfen unerläßliches Organ,wenn man vermeiden wollte,daß noch mehr Fracht beschädigt wurde.

Beim Schienenstraßenwagen muß man sich von der Zugbildungsarbeit ein ganz anderes Bild machen als bisher. Die Wagen brauchen nicht mehr unter großem Zeitaufwand über kostspielige Ablaufanlagen und Verteilungsharfen in Richtungsgleise geschickt werden,sondern Zugauflösung und =bildung wird sich in ein und demselben,aus mehreren nebeneinander liegenden,vollkommen einbetonierten oder einasphaltierten Gleisen abspielen. Die Wirkung des Spurkranzes wird,wie bereits oben beschrieben,aufgehoben und die Wagen werden durch eigenen Kraftantrieb oder mit einem Schlepper in einem anderen Gleis zu einem neuen Zug zusammengestellt. Die bei diesen Bewegungen auftretenden Stoßkräfte sind so gering,daß auf die Seitenpuffer,sehr zu gunsten des Leicht-

baues,verzichtet werden kann.

Der Weg führt damit zwangsläufig zu der vielbesprochenen selbsttätigen Mittelpufferkupplung. Zur Zeit wird ihre technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit vom internationalen Eisenbahnverband eingehend geprüft. Die bekanntesten Systeme für normale Eisenbahnwagen ist die Willison= und Scharfenbergkupplung. Die erstere ist in U.S.A.bei sehr vielen Eisenbahn-Gesellschaften eingeführt worden. Die letztere ist bei der D.R.G. in Wagen,die für ein abgegrenztes Verkehrsgebiet Verwendung finden,wie in die Stadtbahn= und Großraumgüterwagen eingebaut worden und hat sich bewährt. Außer dem Vorteil des selbsttätigen Kuppelns und der Sicherheit für das Rangierpersonal soll sie bei Entgleisungen im Gegensatz zu den Seitenpuffern einen wirksamen Kletterschutz bieten. Sie ist imstande trotz geringen Gewichtes erhebliche Zugkräfte zu übertragen,sodaß sie für unsere Zwecke sehr geeignet ist. Denn wenn auch unsere Fahrzeuge nur das Gewicht von Lastkraftwagen bekommen werden,so kann man doch nicht mit deren Zugvorrichtungen auskommen,weil wir ja regelrechte Züge fahren wollen. Die hiebei auftretenden Zugkräfte werden zwar geringer sein als bei den bisherigen Güterzügen,es ist aber zu bedenken,daß der spezifische Rollwiderstand von gummibereiften Rädern auf Eisen voraussichtlich ca.5 mal größer ist,als jener von Stahlrädern. Man muß also damit rechnen,daß bei gleicher Zugstärke und einem um ca.2/3 geringeren Zuggewicht immer noch statische Zugkräfte bis zu 5 t auftreten. Das entspricht einer Zugstärke von ca.50 Wagen,wenn man die übliche mittlere Güterzuggeschwindigkeit voraussetzt. Die bei der D.R.G. eingeführten Mittelpufferkupplungen können bis zu 40 t Zug beansprucht werden. Da die durch Zugzerrungen hervorgerufenen dynamischen Bean-

spruchungen in unserem Falle durch den Wegfall der Seitenpuffer ziemlich klein gehalten werden können,genügt es vorderhand,eine höchste Zugkraft von 10 t festzusetzen. Dadurch wird die Kupplung wesentlich leichter. Ihre Bauart und Wirkungsweise dürfte aus der Literatur hinreichend bekannt sein. Im übrigen sind die sämtlichen für die Einführung der Mittelpufferung bei reinen Schienenfahrzeugen in Frage kommenden Bedingungen sowohl für die Übergangszeit als auch für den endgültigen Betrieb in der Zeitschrift des J E V,Jahrgang 1931 Seite 498 - 510 festgelegt.

Das Ein= und Aussetzen der Wagen in die Züge und das Durchfahren der Straßenkrümmungen,die oft nur Kadien von 20 m aufweisen,ist umso einfacher und erfordert umso weniger Platz, je mehr mindestens eine der Wagenachsen ausgelenkt werden kann (Abb.36). Nach den jüngsten Erfahrungen im Lastkraftwagenbau lassen sich bis zu 16 t bei Einfachbereifung auf 2 Achsen unterbringen. Man kann also auch in unserem Falle auch bei Wagen mit eigenem Kraftantrieb bis zu 5 t Nutzlast und mehr mit dieser Achszahl befördern,wenn die oben beschriebene Beischiene eingebaut wird.

Die einfachste und älteste Lenkvorrichtung für gezogene Fahrzeuge ist die Deichsel. Da sie die Störungsmomente,die von der Fahrbahn auf sie übertragen werden,auch bei größeren Geschwindigkeiten auffangen kann,ist sie auch hier brauchbar,soweit sie konstruktiv untergebracht werden kann. Man erreicht durch die Schwenkbarkeit der einen Achse eine praktisch völlig radiale Einstellung in den Kurven (Sehnenstellung der Wagen),da die Deichsel zum Zwecke eines ruhigen Laufes durch das Zugorgan zwangsläufig geführt wird.(Der ruhige Lauf der Fahrzeuge bei höheren Geschwindigkeiten hängt von der Durchbildung und der Länge der Deichsel ab.

Sicherlich ist er bei diesen,da sie im Zugverbande laufen,eher zu erreichen,als bei Lokomotiven mit vorauslaufenden Deichsel=, sog.Bisselachsen. U.U.sind auch die Deichseln der Schienen= Straßenfahrzeuge mit Rückstellvorrichtungen auszurüsten,soweit nicht die Gummireifen selbst die seitlichen Stöße und Schlingerkräfte genügend abdämpfen.). Die Erledigung dieser Frage hängt mit der

Durchbildung des Fahrgestells

unmittelbar zusammen.Hier kommen uns die neuesten Rohrfahrgestelle des Kraftfahrzeugbaues sehr zu Hilfe. Sie werden mit Drehgestellsteuerung ausgestattet,die einen Wenderadius von ca.5 m ermöglichs. Die Achsen schwenken dabei nicht wie bisher um einen Laufkranz,sondern um einen kugeligen Zapfen. Das Rohrfahrgestell ist besonders zweckmäßig. Es ist wesentlich leichter als die bisher üblichen Rahmenfahrgestelle, - man hat damit für Vierradanhänger bereits eine Nutzlast von 7,5 t erreicht - vollkommen verwindungssteif und ersetzt die bei den bisherigen Eisenbahnwagen verwendete durchgehende Zugstange. Die Übertragung der Zugkräfte erfolgt also auch hier nicht durch den Wagenkasten, sondern nur durch den Rohrrahmen.

2. Bei Wagen mit eigenem Kraftantrieb

erhält der Kastenaufbau ein abgeschlossenes Abteil für die Aufnahme des Motors und des Führersitzes. Im übrigen gleicht er jenem des Wagens II,1. Als Kraftantrieb genügt ein 50 PS Dieselmotor,da auf der Straße nicht mit großen Geschwindigkeiten gefahren werden muß. Die Übertragung der Leistung erfolgt wie bei Fahrzeug I) mit dem Unterschied,daß die Kardanwelle hier im Innern

des Rohrrahmens zur Hinterachse geleitet wird. Schwierig ist es, die

Deichsel,Zug= und Stoßvorrichtung und Steuerung

möglichst einfach unterzubringen. Auf die letztere kann nicht verzichtet werden,weil diese Wagen auf der Straße auch einzeln gefahren werden müssen. Für solche Fälle ist eine durchgehende Achse,wie sie die reinen Anhänger haben,nicht brauchbar,da der Hebelarm a) (siehe Abb.37),an dem durch Weghindernisse verursachte Störungsmomente übertragen werden,möglichst klein sein muß. Denn diese werden hier nicht durch die Deichsel,sondern durch das Handrad der Steuerung aufgefangen.

Da der Raum,in dem Kupplung und Steuerung untergebracht werden muß,sehr beschränkt ist,muß man sich eben bei der Zugvorrichtung mit kleineren Abmessungen,d.h.also mit kleineren Zugeinheiten begnügen. Es soll unter Beibehaltung des Rohrfahrgestelles eine Zugstärke von höchstens 30 Wagen mit eigenem Kraftantrieb angenommen werden. Das schließt nicht aus,daß in einem solchen Zuge noch andere Wagen befördert werden; diese müssen aber an dessen Spitze gestellt werden.

Die Zugkräfte werden mit Hilfe einer Zange z,(Abb.41), die das Motorgehäuse umgreift,auf den Rohrrahmen übertragen. Auf eine Radialstellung der Vorderräder bei Schienenfahrten mit Hilfe einer schwenkbaren Deichsel wurde hier mit Rücksicht auf die Ergebnisse in Abschnitt I,4 verzichtet; die Kraftwagensteuerung wird verriegelt,sodaß die Räder bei Schienenbetrieb stets ihre parallele Lage beibehalten. Dadurch erhält man ein Fahrzeug mit festen Achsen. Zeigt die Erfahrung,daß sich dabei die Reifen zu stark abnützen,so muß die Schwenkbarkeit der Deichsel durch eine in Abb.35 schematisch gezeigte Steuerung herbeigeführt werden.

Hierbei wird bei Schienenfahrten Verbindung m gelöst, bei Straßenfahrten Verbindung n.

Als Räder werden bei den Fahrzeugtypen II dieselben Ausführungen verwendet wie bei Type I.

Mit Rücksicht auf die günstigen Erfahrungen, die bisher im Eisenbahnbetrieb mit Luftdruckbremsen als durchgehende Bremse gemacht wurden, soll sie auch hier eingebaut werden. Insbesondere der bei den Eisenbahnverwaltungen herrschende Grundsatz des selbsttätigen Bremsens bei unbeabsichtigten Zugtrennungen läßt sich dadurch ohne Schwierigkeit einhalten. Wenn Schienenstraßenwagen im Zugverbande mit anderen Eisenbahnwagen laufen, so wird wegen deren Stahlräder und zur Vermeidung von Zerrungen eine andere Bremswirkung wünschenswert sein, als dann, wenn sie allein fahren, oder Züge nur aus Schienenstraßenwagen bestehen. Eine solche veränderliche Bremswirkung kann durch eine dem GP - Wechsel ähnliche Umstellvorrichtung erzielt werden. Die Erörterung weiterer technischer Einzelheiten würde hier zu weit führen.

Den gesamten Aufbau des Fahrzeuges zeigt Abb.41. Die Anordnung des Wagenkastens erfolgte mit Rücksicht auf Umladearbeiten ebenso hoch wie bei Fahrzeug II,1, obwohl konstruktiv eine tiefere Auflagerung möglich gewesen wäre.

III) Zusammenfassung und Ausblick.

Die im vorstehenden beschriebenen und gezeigten Fahrzeuge sind umso leichter in ein Eisenbahnsystem einzuführen, je weniger dieses selbst entwickelt ist, am leichtesten also in Eisenbahnneubauten. Ja man darf sagen, daß letztere durch die vielseitige Verwendungsmöglichkeit des Schienenstraßenwagens wieder

aktuell werden können. Der Ober= und Unterbau samt den Kunst= und Brückenbauten kann dann von vorneherein einfacher gehalten und rascher hergestellt werden,wenn das Reibungsgewicht nicht in dem Maße fällt,als die Reibungsziffer gegenüber Eisenreifen zunimmt, - Vorteile,die besonders für Behelfs= oder Kolonialbahnen Bedeutung haben. In solchen Fällen würde sich eine wirtschaftliche Vergleichsrechnung zwischen altem und neuem Eisenbahnsystem erübrigen.

Anders bei bestehenden,hochentwickelten Eisenbahnanlagen. Man muß hier die durch die Beischiene oder die höhere Achszahl,ferner durch den Verschleiß an Gummi entstehenden zusätzlichen Kosten genau gegen die zu erwartenden Ersparnisse an Oberbau=, Umlade=, Zugbildungs= und schließlich auch Schadenersatzkosten für beschädigte Güter abwägen. Diese Untersuchung soll im folgenden zweiten Teil dieser Arbeit für ein großes,bestehendes Eisenbahnnetz durchgeführt werden.

==========

B. Die Wirtschaftlichkeit.

Die Eisenbahnen sind in einer schwierigen Lage: Sie sollen ihren volkswirtschaftlichen,für sie oft recht kostspieligen Verpflichtungen nachkommen - man denke nur an die Bedienung dünnbesiedelter,armer Landstriche und an die niedrigen Tarife der ihr verbleibenden Güterklassen (Kohle etc.) - und dabei mit Rücksicht auf die Verkehrsrückgewinnung und =haltung so billig wie möglich fahren. Das kann nur erreicht werden durch weitestgehende Verringerung der Selbstkosten.

Die folgenden,vergleichenden Untersuchungen sollen zeigen,wie dies mit Hilfe des neuen Fahrzeugs geschehen kann. Allerdings können nicht sämtliche Einzelheiten,die für einen Wirtschaftlichkeitsnachweis nötig sind,mit Sicherheit angegeben werden,da dies meist nur auf Grund statistischer Unterlagen möglich ist,die ja für unser Fahrzeug noch vollkommen fehlen. Es lassen sich so viele seiner Vorteile gar nicht einwandfrei ermitteln,so z.B.die Rückgewinnung des Verkehrs,die Schonung des Oberbaues,des Ladegutes und des Fahrzeugs selbst. Man kann sagen, daß es gerade durch die Gummibereifung möglich sein wird,auch für Verbrennungstriebwagen eine für den Eisenbahnbetrieb nötige Betriebsausdauer zu erzielen,da ein großer Teil der Schäden an diesen Wagen auf eine ungenügende Abfederung empfindlicher Maschinenteile zurückgeführt werden kann.

Wichtig ist für die wirtschaftliche Bewährung eines Verkehrsmittels,daß es ausschließlich dem Aufgabenkreis zugeführt wird,für den es vorgesehen ist. Dieser besteht hier:

I) Aus einem Teil des Personenverkehrs.

Für diesen spielt der Schienenstraßenwagen besonders durch seine Neuartigkeit mehr die Rolle eines Werbemittels,als die einer Einnahmequelle. Im übrigen war der Personenverkehr infolge der volkswirtschaftlichen Aufgabe der meisten Staatsbahnen,die sie zu erfüllen haben (große Tarifermäßigung für den Berufs=,Schüler=,Militär= und sonstigen Verkehr,Bedienung auch unwirtschaftlicher Nebenbahnstrecken,Beförderungszwang),von jeher ein Zuschußbetrieb,der von den Überschüssen des Güterverkehrs durchgehalten werden mußte. Auch können hier keine Ersparnisse an Umlade= oder Zugbildungskosten erzielt werden,die den Schienenstraßenwagen für den Güterverkehr so wünschenswert machen. Deshalb wird der Gesamtpersonenverkehr auch beim neuen Fahrzeug ein Verlustgeschäft bleiben,sodaß die Änderungskosten und Verzinsung der notwendigen festen Anlagen der Güterverkehr tragen muß. Aus diesen Gründen wird auf einem umfangreichen Wirtschaftlichkeitsnachweis verzichtet.

Nach den Ausführungen im Teil A Seite 12,sollen die Schienenstraßenwagen im Personenverkehr als Einzeltriebfahrzeuge mit höchstens einem Beiwagen verwendet werden. Für diese ist die Wirtschaftlichkeitsgrenze durch die Gegenüberstellung der Kosten eines Sitzplatz-Kilometers bei einem bestimmten Verkehrsvolumen bei Triebwagen und regelrechten Zügen in früheren Arbeiten festgelegt [19]). Die etwas größere mittlere Reiselänge, die erreicht wird,ist zu unbestimmt,um sie zugunsten der neuen Beförderungsart buchen zu können. Man wird in den Personenver-

---

19) K.Friedrich,"Der Eisenbahntriebwagen", Diss.München 1931.

kehr am Anfang möglichst wenig Kapital investieren und abwarten, wie er sich entwickelt.

Für uns ist zunächst viel wesentlicher,daß der Schienenstraßenverkehr hauptsächlich

II) aus einem Teil des Güterverkehrs

besteht (Stückgut und leichte Wagenladungen bis 5 t). Es handelt sich also hauptsächlich um Verkehrsaufkommen,die beispielsweise der Kraftwagen sich angeeignet hat. Dabei braucht das nicht immer reiner Haus-Hausverkehr zu sein. Es ist längst erwiesen, daß der Ferngüterkraftverkehr gezwungen ist,mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit das Gut in Zubringerautos an die Abgängsplätze der Fernautos (=Abfertigungs-Bhf.) heranzuschaffen und von den Ankunftsplätzen (=Empfangs-Bhfe.) aus zu verteilen,also doch wieder umladen,was man ja gerade durch die Einführung des Kraftwagens vermeiden wollte,um die Eisenbahn zu schlagen. Man wird - eben aush aus wirtschaftlichen Gründen - auch beim Schienenstraßenwagen nicht ohne Umladungen auskommen. Es ist aber zu erwarten,daß durch die Einführung des Behälterverkehrs diese verringert und vereinfacht werden. Schließlich kann den Kunden, die Güter über eine gewisse Menge erhalten oder versenden,die Fracht ins Haus gefahren oder abgeholt werden. Damit wird der neue Wagen selbst zum geeignetsten Behälter.

Der Massen= und Schwergutverkehr scheidet hier aus,da die Kunden dieses Verkehrs fast durchwegs Gleisanschluß haben und deshalb mit den üblichen Eisenbahnwagen bedient werden können.

Es soll nach folgenden Gesichtspunkten vorgegangen werden:

1.) Wie wirkt sich das neue System auf die einzelnen Posten der Kostenrechnung, besonders auf die Zugbildungskosten aus?
2.) Von welcher Wagenladung ab soll die bisherige Beförderungsart (Eisenbahnwagen mit Tragfähigkeit bis 20 t, jedoch mit Umladung von Straße auf Schiene und umgekehrt) der neuen Beförderungsart (Wagen mit Tragfähigkeit bis 5 t, jedoch keine Umladung) vorgezogen werden.
3.) Soll das nötige Gesamtgewicht eines Wagens (einschl. Ladung) mit geringem Raddruck (viel Rädern) und auf den gewöhnlichen Schienen oder mit hohem Raddruck auf einer neben der Normalschiene befestigten Beischiene befördert werden?
4.) Soll jeder Wagen einen eigenen Kraftantrieb erhalten, oder sollen die Wagen außerhalb des Schienennetzes von Motorwagen gezogen werden?

Als Vergleichseinheit sollen die Selbstkosten eines Tarifkilometers (tkm) dienen. Als Quellen für die Kosten bei reiner Schienenbeförderung wurden der Geschäftsbericht und das Wirtschaftsergebnis der DRG vom Jahre 1930 (Wi-Erg) und das Werk: Capelle, Baumann und Feindler: "Zugbildungskosten, Zugförderkosten und ihre Wechselbeziehungen", benützt.

Die Ergebnisse der Kostenbildung sind in Zusammenstellung 5 und 12 zusammengefaßt. Es wurden bei ihrer Errechnung nach der Wi-Erg folgende Kostengruppen unterschieden:

1) Kosten für Umladung von der Straße auf die Schiene und umgekehrt — K_u in $\frac{Rpf}{tkm}$

2) Abfertigungskosten — K_a in $\frac{Rpf}{tkm}$

3) Umladekosten innerhalb des Reiseweges auf der Schiene — K_{ur} in $\frac{Rpf}{tkm}$

4) Zugbildungskosten — K_b in $\frac{Rpf}{tkm}$

5)) Zugförderkosten	K_f	in	$\frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$
6)) Umwegkosten und Anteil des Dienstgutes	K_w	in	$\frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$
7)) Schulden	K_s	in	$\frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$

Zur Beantwortung der Frage 2 (s.S.57) sind die Gesamtkosten in Abhängigkeit von einer bestimmten mittleren Versandweite je Tonne in km und der auf sie treffenden Umladungen und Wagenbehandlungen für verschiedene Belastungen des Wagenladungsverkehrs (auch Stückgut von über 2 t kann nach der EVO [20]) bereits als Wagenladung behandelt werden) zu ermitteln. Es wurden die Kosten aufgestellt bei Einrechnung des Wagenladungsverkehrs mit 5 t, 5 und 10 t, 5,10 und 15 t.

Kostengruppen 1)), 2)), 3)), 4)):

Umladungs=, Abfertigungs= und Zugbildungskosten.

Die ersten drei Kostengruppen 1)), 2)) und 3)) bauen sich auf der mittleren Versandweite auf (s.Zusammenstellung 5, Kosten für reine Schienenbeförderung aus Ergebnissen der DRG im Jahre 1930).

Erklärung der Fußnoten ~~(rote Zahlen in Zus.1):~~

[1] Die verschiedenen Gewichtsklassen sind an den zusammengesetzten Kosten entsprechend der Größe ihres Aufkommens beteiligt. Damit wird z.B.in laufender Nummer 6:

$$K_{uVI} = \frac{K_{uIII} \cdot t_{III} + K_{uIV} \cdot t_{IV} + K_{uV} \cdot t_V}{t_{VI}}$$

---

20) Eisenbahnverkehrsordnung.

$$= \frac{7,5 \cdot 330 + 6,15 \cdot 2915 + 8 \cdot 2263}{5508} = 7,0 \frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$$

oder:

$$K_{uVIII} = \frac{K_{uVI} \cdot t_{VI} + K_{uVII} \cdot t_{VII}}{t_{VIII}} = \frac{7,0.5508 + 8,0.2434}{7942} =$$

$$= 7,33 \frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}} .$$

In analoger Weise geschieht die Ermittlung der übrigen zusammengesetzten Kosten.

2 Bei Wagenladungen entstehen keine Kosten für Umladungen innerhalb des Reiseweges auf der Schiene.

3 Die Zugbildungskosten in Pfg je Wagen K_{bw} werden nach Capelle, Feindler und Baumann ausgedrückt durch die Formeln:

a) Für Durchgangsgüterzüge:

$$K_{bw} = 47,2.1,13 \left[0,204 + \frac{1,125.0,65(W+40)}{W.B^{0,8}}\right] + 9,9 \left[\frac{0,05W}{B} + 0,0320(W+40)\right]$$

b) Für Nahgüterzüge:

$$K_{bw} = 47,6.1,67 \left[0,204 + \frac{1,125.0,65(W+40)}{W.B^{0,8}}\right] + 9,9 \left[\frac{0,05W}{B} + 0,0343(W+40)\right]$$

Hiebei stellt jeweils der erste Klammerwert die eigentlichen Bearbeitungskosten und ortsfesten Kosten der Zugbildung (Unterhaltung und Betrieb der baulichen Anlagen, Bremsmittel, Beleuchtung und Heizung), der zweite Klammerwert die durch die Behandlung auf den Verschiebebahnhöfen verursachten Wagenvorhal-

tungskosten dar.

Weiter bedeutet: W = Anzahl der Wagen je Zug

ß = Bahnhofbelastung

Die damit erzielten Ergebnisse sind in der Zusammenstellung 2 dieses Werkes zusammengestellt. Es soll lediglich zur Überprüfung der eben erhaltenen Ergebnisse ein zusammengesetzter Wert auf das Verfahren von Capelle zurückgeführt werden.

Nach dem Wi-Erg sind die Zugbildungskosten in Zusammenstellung 2 entwickelt.

Der Wert K_w = 2,73 ergibt nach Capelle etc.bei einer Bahnhofbelastung von ß = 0,5 (entsprechend der Wirtschaftslage) nach Tafel 4,Bild 17 für Durchgangsgüterzüge eine Wagenzahl von 17 und für die Nahgüterzüge mit Rücksicht auf die Zugbildungskosten eine Wagenzahl von 50 (die Zugbildungskosten werden nach Capelle bei dieser Zugstärke ein Minimum).

Für Durchgangsgüterzüge ist die Wagenzahl allerdings unwahrscheinlich niedrig. Es kommt dies daher,weil hier nur kleine Gewichtsklassen betrachtet wurden,die zwar auch in Durchgangsgüterzügen befördert werden,aber wegen ihres geringen Anteils an der gesamten tkm-Leistung auf deren Kosten nicht wirksam werden. Es trifft auch zu,daß Nahgüterzüge auch tatsächlich mehr Stückgut und Wagenladungsgut bis 5 t führen,als Massegut.

4 Die mittlere Versandweite wurde mit Rücksicht auf Zu= und Abfuhr zu und von Bahnhöfen beim Schienenstraßenverkehr um 2 x 15 = 30 km erhöht. Dieser Zuschlag ist nicht zu groß,wenn man bedenkt, daß oft auch Umwege zurückzuõegen sind,um an den Absender oder den Empfänger zu gelangen. Damit erhöht sich natürlich auch die tkm-Gesamtleistung $T_{XI-XVIII}$ um das $\frac{S_{mXI-XVIII}}{S_{mIII-X}}$ fache.

[5] Die Abfertigungskosten verringern sich nicht weiter wie bei reiner Schienenbeförderung,da sich nicht nur das Gewicht,sondern auch die Wagenzahl verdoppelt bzw.verdreifacht.

[6] Die Zugbildungskosten werden sich infolge des Wegfalles der umfangreichen Rangierarbeiten in diesem Falle erheblich verkleinern und sollen als Teil einer anderen Kostenstelle,und zwar als Oberbaukosten bei den Zugförderkosten erscheinen. Es ist nämlich nötig,auf solchen Bahnhöfen,auf denen Wagen ein= und ausgesetzt werden,zwei bis drei Gleise auf eine Länge von 3-4 Wagen einzuasphaltieren. Da das Ein= und Aussetzen nur aus dem Kuppeln oder Lösen,dem Anbringen oder Abnehmen der Spurkränze, und dem Wegziehen oder Wegfahren besteht,gehören die dadurch entstehenden Kosten ihrem Wesen nach mehr zu den Zugförderkosten. Die für die Spurkränze nötige Rüstzeit wird durch die selbsttätige Kupplung eingebracht.

Die Kostengruppe 5 (die Zugförderkosten in Rpf/tkm)

erreicht für reine Schienenbeförderung nach Abb.42 bei den verschiedenen Güterklassen die in Zusammenstellung Nr.7 unter lf. Nummer 1 angegebenen Einzel= und mittleren Werte bei den oben angegebenen mittleren Versandweiten.

Hierin bedeuten:

1 = Kosten,die bei beiden Beförderungsarten anfallen — in Rpf = K_f

2 = Kosten für Rollfuhr bei reiner Schienenbeförderung mit Umladung — " = K_{sp}

3 = zusätzliche Kosten durch Anwendung von Schienenstraßenwagen — " = K_w

4 = Summe 1 mit 2,bzw.1mit 3

a) Die Kosten unter laufd.Nummer 1) verteilen sich auf die einzelnen Ausgaben ungefähr nach Zusammenstellung Nr.8. Dabei tritt für einzelne Kosten der Spalten IV, V, VI durch weiter unten im einzelnen erklärte Gründe eine Minderung der Selbstkosten ein. Die mit Rücksicht auf die günstige Beförderungsart mit Sicherheit eintretende Steigerung der Verkehrsleistungen wurde außer acht gelassen,weil sie zahlenmäßig schwer zu erfassen ist. Die Kosten fallen bei reiner Schienenbeförderung stärker als bei Schienenstraßenbeförderung,weil sich dort nicht nur die zunehmende Zugstärke,sondern auch die günstigere Auslastung bemerkbar macht. Da diese bei Schienenstraßenwagen mit 5 t 100 % der Tragfähigkeit erreicht,fallen hier die Kosten für Wagenladungen über 5 t nur durch die zunehmende Zugstärke. Allgemein gilt hiebei im Bereich normaler Zugstärken (5-75 Wagen) folgendes:

Verhalten sich die Wagenzahlen zweier Züge wie 1: 2, so verhalten sich ihre Zugförderkosten ungefähr wie 1,4 : 1; verhalten sie sich wie 2 : 3,so wird dieses Verhältnis zu 1,2:1. Damit wird für die Wagenladungen 2 x 5 t : $K_{f1} = \frac{4,3}{1,4} = 3,07 \frac{Rpf}{tkm}$

und für die Wagenladungen 3 x 5 t : $K_{f1} = \frac{3,07}{1,2} = 2,56 \frac{Rpf}{tkm}$

Die Anteile entsprechen ungefähr den bei Capelle ermittelten Werten (s.S.112,Bild 35 und 37). Beim Vergleich muß jedoch berücksichtigt werden,daß dort eine etwas andere Unterteilung der Gewichtsklassen und Zugarten vorgenommen wurde.

Fußnoten: ① Es tritt hier nur die Verbilligung infolge der erhöhten mittleren Versandweite auf. Wenn auch die Zuggewichte wesentlich geringer werden,so bleibt doch der Betriebsstoffverbrauch infolge des größeren Rollwiderstandes der Gummireifen

ungefähr gleich. Aus diesem Grunde wurden auch die Kosten unter laufender Nummer 4 und 5 der Zusammenstellung 8 nicht weiter ermäßigt.

② Diese Kosten werden für die Schienenstraßenförderung später entwickelt.

③ Die Oberbaukosten unterscheiden sich grundsätzlich in solche,

a) die von der Belastung der Gleise abhängig und

b) die von der Belastung der Gleise unabhängig,also nur von der Alterung und der Verwitterung abhängig sind. Sie verhalten sich ungefähr wie a) : b) = 3:1. Der Anteil a) schwindet bei gummibereiften Fahrzeugen auf einen Bruchteil und zwar auf ca.1/3 von dem bei Eisenrädern zusammen,da nur mehr die schädliche Reibung des Spurkranzes und diese nur in den Kurven auftritt,während die den Oberbau besonders zerstörende,schlagartige Wirkung der schweren unabgefederten Radsätze entfällt. (Bei der DRG liegt ungefähr 30 v.H. der Gesamtstreckenlänge in Kurven). Deshalb kann hier mit einer Ersparnis von mindestens 66 % gerechnet werden (Differenz zwischen eingeklammerten und dem nicht eingeklammerten Werte). Zum Beispiel zerlegt sich der Wert 1,075 folgendermaßen:
3/4,also 0,81 fallen auf die Belastung (bei reinem Schienenbetrieb) da Gummibereifung nur 1/9 davon,also 0,09; Anteil der Verwitterung: 1/4 x 1,075 = 0,27; Gesamtkosten: 0,27 + 0,09 = 0,36 $\frac{Kpf}{tkm}$ (siehe Zuko [21])),Teil B,Seite 41; es wurden in die Formel für Oberbaukosten verschiedene Werte eingesetzt und daraus obiges Verhältnis 3:1 ermittelt).

Die oben erwähnte Asphaltierung kleiner Bahnhofteile

---

21) Vorschrift der DRG für die Berechnung der Kosten einer ~~Zugkraft-~~ Zugfahrt.

wurde nicht eingesetzt,da gleichzeitig eine Schonung der Rangierweichen und übrigen =anlagen eintritt,welche diese Asphaltierungskosten (ca 1,2 $\frac{RM}{m_2}$ Jahresaufwand) mehr als ausgleichen dürften.

Auf Seite 21 uff.wurde die Anbringung einer Beischiene zur Verbreiterung der Fahrbahn für Gummiräder erörtert. Die Kosten dieser Einrichtung soll im Anschluß hieran ermittelt werden. Sind diese geringer als die Erhöhung der Reifenkosten ohne Beischiene die später festgestellt werden,so ist die Beischiene vorzuziehen. Es genügt,wenn diese vorerst auf den Hauptbahngleisen vorgesehen wird; der Nebenbahnbetrieb kann soweit er für die Schienenstraßenwagen infrage kommt,auf der Landstraße abgewickelt werden.

Nach den Angaben der DRG betrug die Länge der für den Güterverkehr in Betracht kommenden Hauptbahngleise einschließlich der Bahnhöfe im Jahre 1930 rund 30 000 km. Davon entfallen auf die Bahnhöfe rund 25 %. Da es genügt,auf den Bahnhöfen nur die durchgehenden Hauptgleise,also nur 1/3 der gesamten Bahnhofgleislänge mit Beischiene zu versehen,so erniedrigt sich die oben angegebene Länge auf 30 000 - 25 % x 2/3 = 30 000 - 16 % = 30 000 - 0,16 x 30 000 = 25 000 km.

Die auf 1 km Betriebslänge entfallende Verkehrsleistung beträgt somit:

$$T'\left(\frac{tkm}{km}\right) = \frac{T}{25\ 000}\left(\frac{tkm}{km}\right) \text{ (vergl.Zus.5,lf.Nr.1).}$$

Dr,Ing.Bäseler und Ing.Dietrich,die eine solche Beischiene entwickelt haben,geben für die Kosten der laufenden m einschließlich Montage und dergl.RM 10.--,also pro km 10 000 RM an. Rechnet man für Abschreibung und Unterhaltung jährlich 3 %

des Anlagekapitals (der Schuldendienst wird erst am Schluße bei der Zusammenstellung der Gesamtkosten berücksichtigt),so bekommt man für 1 km Beischiene RM 0,03 x 10 000 = RM 300.--, oder an zusätzlichen Oberbaukosten für 1 tkm

$$k_o' = \frac{300 \times 100}{T'} \ \frac{Rpf}{tkm} \text{ (s.Zus.8,lf.Nr.11)} =$$

$$\frac{300 \times 100 \times 25\,000}{T} \ \frac{Rpf}{tkm};$$

(4) Die gesamten Zugförderkosten je Güterwagen = km erhält man nach Capelle aus den folgenden Formeln:

a) Für Durchgangsgüterzüge:

$$K_{fw} = \underbrace{\left[\frac{1585 \cdot 100}{22,4 \cdot 9 \cdot 0,7 \cdot 10} + \frac{4750 \cdot 14}{280 \cdot 24} = \left(\frac{10\,000 \cdot 14}{800 \cdot 10}\right) \cdot \left(\frac{1}{v} + \frac{0,35}{27}\right)\right]}_{km} +$$

$$+ \underbrace{\frac{14500 \cdot L}{S \cdot W}}_{k_l} + \underbrace{\frac{0,00773 \cdot Ze}{W}}_{k_u} + \underbrace{\frac{2,7}{W}\left[Z_e + \frac{0,004}{25} \cdot \frac{G_Z \cdot v^2}{200} + \right.}_{k_b}$$

$$\underbrace{\left. + 0,25 \cdot L \cdot \left(\frac{1}{v} + 0,06\right)\right]}_{k_b} + \underbrace{\frac{0,6}{W}(0,1 \cdot G_Z + v)}_{k_o} = k_m + k_l + k_u + k_b;$$

b) Für Nahgüterzüge:

$$K_{fw} = \underbrace{\left[\frac{1925.100}{22,4.9.0,7.W} + \frac{4750.14}{280.24} + \frac{10000.14}{800.W}\right]\left[\frac{1}{v} + \frac{90+W}{3000}\right]}_{km} + \underbrace{\frac{14500.L}{S.W}}_{k_l} +$$

$$+ \underbrace{\frac{0,00773.Z_e}{W} + \frac{0,065.L.(30+W)}{60.W}}_{k_u} + \underbrace{\frac{2,7}{W}\left[\frac{Z_e + \frac{0,004}{5} \cdot v^2 \cdot G_Z}{200} + 0,25.L\right.}_{k_b}$$

$$\underbrace{\left. \cdot \left(\frac{1}{v} + \frac{8.90+W}{3000}\right)\right]}_{k_b} + \underbrace{\frac{0,6}{W}(0,1\ G_Z + v)}_{k_o} = k_m + k_l + k_u + k_b + k_o;$$

Hierbei bedeuten: k_m = Mannschafts=,Güterwagen= und Packwagenkosten

k_l = Lokomotivkosten

k_u = Lokomotivunterhaltungskosten

k_b = Betriebsstoffkosten

k_o = Oberbaukosten

Mit Hilfe dieser Formeln wurde die Tafel 6 des obigen Werkes erstellt.

Errechnet man sich die Güterwagenkilometerkosten aus den in dieser Abhandlung angegebenen Werten,indem man die in laufender Nummer 2 der Zusammenstellung 6 (Auslastung der Wagen) mit den jeweils dazugehörigen Werten in laufender Nummer 1 der Zusammenstellung 7 (Zugförderkosten in $\frac{Rpf}{tkm}$) multipliziert,so erhält man die in laufender Nummer 13 der Zusammenstellung 8 angegebenen Werte. Vergleicht man diese mit den bei Capelle in Tafel 6 angegebenen Werten,so kommt man bei Annahme einer mittleren Steigung von 3 ‰ nur auf eine mittlere Zugstärke von 10 Wagen (Güterzug B und C). Wenn auch in unsere Betrachtungen sämtliche Leig mit einbezogen sind,die bekanntlich aus 2-3 Wagen bestehen und dadurch die Wagenzahl je Zug zusammen mit dem Verkehrsrückgang stark herabsetzen,so erscheint die obige Wagenzahl doch etwas niedrig. Es ist vielmehr anzunehmen,daß sich viele Festwerte der obigen Formeln,die sich auf Beobachtungen der Jahre 1925/26 aufbauen,im Sinne einer Erhöhung der festen Kosten je Güterwagenkilometer geändert hat. Es wird deshalb an den aus den Angaben 1930 der DRG ermittelten Werten festgehalten.

Damit sind die Kosten für die Beförderung der Güter auf der Schiene sowohl für reinen Schienenverkehr als auch für

Schienenstraßenverkehr festgelegt.

Es folgen nun

b) die bei reiner Schienenbeförderung zusätzlichen Kosten für die Zu= und Abfuhr der Güter

durch den Spediteur (lf.Nr.2 der Zusammenstellung 7).

Da auf Seite 60 Fußnummer 4 ein Zubringerweg von insgesamt 2 x 15 = 30 km vorgesehen ist,wurden diese Kosten nicht dem Einheitsgebührentarif für Bahnamtliche Rollfuhrunternehmer der DRG (der ja nur für ganz geringe Entfernungen gilt) sondern dem Reichskraftwagentarif für Güter und Tiere entnommen.Reichsbahnrat Dr.Ing.May,Köln,hat in der "Reichsbahn",Jahrgang 1932, Seite 335 mit 340 diese Tarife in Form von Kurven zusammengestellt. Darnach bekommt man für zusätzliche Rollfuhrkosten die Zusammenstellung 9.

c) Zusätzliche Kosten bei Schienenstraßenbetrieb.

Die Ermittlung der Kostenstelle 3 in Zusammenstellung 7 erfordert eine umfangreiche Untersuchung. Es werden damit auch die Fragen 3 und 4 auf Seite 57 erklärt,die entscheiden sollen, ob eine Beischiene angewendet,ob die Wagen mit Schlepper befördert werden oder jeder Wagen einen eigenen Kraftantrieb erhalten soll.

α) Die Wirtschaftlichkeit der Beförderung der Wagen mit eigener Kraft auf einer Beischiene.

Die Entscheidung über die Anordnung einer Beischiene ist von den Bereifungskosten abhängig. Sind die zusätzlichen Kosten einer Beischiene geringer als die Bereifungskosten für

die nötigen Zusatzräder bei Betrieb ohne Beischiene,so ist kein Grund vorhanden,die Beischiene nicht einzubauen.

Diese Ermittlung wird zunächst für den Fall durchgeführt,daß jeder Wagen einen eigenen Kraftantrieb hat. Es werden Wagen mit 5 t Nutzlast vorgeschlagen. Im Kapitel "Betriebswirtschaftlichkeit des Lastkraftwagens" aus "Deutsches Automobilwesen der Gegenwart" gibt Dipl.Ing.Freidmann,die Höchstlaufleistung für einen Straßenlastkraftwagen mit L = 48 000 km pro Jahr an. Diese Laufleistung kann man den Schienenstraßenwagen ohne Bedenken zugrunde legen,da die mittlere Reisegeschwindigkeit größer ist als jene der Lastkraftwagen und außerdem die Rangierzeiten auf den Bahnhöfen entfallen oder zum mindesten stark gekürzt werden können.(Im "Lastauto" 1932,Heft 12,S.6 wird noch höhere Laufleistung und zwar bis zu 60 000 km angegeben; es soll aber der obige Wert aus Sicherheitsgründen beibehalten werdem). Von dieser Laufleistung entfallen durchschnittlich 1/7,also rund 7000 km,auf den Weg auf der Straße,entsprechend dessen Anteil an der mittleren Versandweite. Leerfahrten wurden hier nicht vorgesehen,da deren Kosten später durch einen Gesamtzuschlag für "Umwegkosten" berücksichtigt werden.

Anlagekapital		16 000.-RM	
I. Von der Leistung unabhängige Kosten			
1. Verzinsung des Anlagekapitals 6%		"	960.--
2. Abschreibung(Lebensdauer 10 Jahre)	10 %	"	1600.--
3. Unterhaltung und Pflege des Wagens		"	2100.--
4. Gehalt des Motorwagenführers:Gesamtgehalt:3000.-RM,davon f.Wagenführg.50 %		"	1500.--
5. Kraftfahrzeugsteuer(wegen geringer Straßenfahrten 25 % der normalen)		"	150.--
Von der Leistung unabhängige Kosten:		RM	6310.--

II. Von der Leistung abhängige Kosten

Brennstoffverbrauch je 100 km in lt.	25	
Jährliche Laufleistung mit Brennstoffverbrauch km	7000	
Brennstoffpreis je lt	Rpf 35	
1. Brennstoffkosten		RM 610.--
2. Jährliche Kosten für Oel und Fett		" 750.--
Von der Leistung ~~a~~abhängige Jahreskosten:		RM 1360.--
Von der Leistung unabhängige Jahreskosten:		RM 6310.--
Gesamtkosten im Jahr:		7670.--

Dazu kommen noch die Bereifungskosten.

Bei Anwendung einer Beischiene kann das Gesamtgewicht des Fahrzeuges,das im beladenen Zustand (5 t Nutzlast) mit 9-10 t anzunehmen ist (die Michelin mit 6,5 t Eigengewicht hat 10 Räder) auf 2 Achsen untergebracht werden. Ohne Beischiene ist mindestens die dreifache Achsenzahl vorzusehen,also auch mit den dreifachen Bereifungskosten zu rechnen. Die mittlere Lebensdauer von neuzeitlichen Reifen wurde für Stadtomnibusse vor kurzem mit 70 000 km bis 90 000 km angegeben. Wenn auch erwartet werden kann,daß die Bereifung sich auf den Schienen noch weniger abnützt,als auf den zum Teil recht holperigen Großstadtstraßen,so soll doch die Fahrt auf der Straße durch eine Beschränkung der angenommenen Lebensdauer auf 50 000 km berücksichtigt werden. Darnach wäre die Bereifung alljährlich zu erneuern.

	mit Beischiene	ohne
Gesamtkosten	RM 7670.--	7670.--
Bereifungskosten(zw.Vollgummi= u.Luftbereifung braucht hier kein Unterschied gemacht zu werden,weil die geringere Lebensdauer der Vollgummireifen deren geringere Beschaffungskosten gerade aufwiegt)	1600.--	4800.--
Gesamtkosten entgültig:	9270.--	12470.--

Daraus bekommt man Zusammenstellung 10.

Die Lebensdauer der normalen Lastkraftwagen wird im Durchschnitt mit 6 Jahren angegeben. Da jedoch die Wagen auf der Schiene wesentlich weniger beansprucht werden als auf der Straße,wurde die Lebensdauer auf 10 Jahre erhöht. Außerdem wurde ein verhältnismäßig hoher Ausbesserungssatz eingesetzt; naturgemäß ist die Lebensdauer eines Fahrzeugs umso höher,je sorgfältiger die Unterhaltung ist.

Die Kraftfahrzeugsteuer wurde nur zu 25 % der norm alen gerechnet,da ja die Schienenstraßenwagen die öffentlichen Wege nur zu einem noch viel geringerem Prozentsatz benutzen wie die allgemeinen Kraftwagen,sodaß sie auch zur Straßensteuer nur teilweise herangezogen werden dürften.

Nach Zusammenstellung 8,lf.Nr.11 betragen die zusätzlichen Kosten für die Beischiene im ungünstigsten Falle (geringste Belastung) nur rund 0,12 $\frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$,während die zusätzlichen Bereifungskosten ohne Beischiene im g ü n s t i g s t e n Falle (größte Belastung) 5,75 - 4,28 = 1,47 $\frac{\text{Rpf}}{\text{tkm}}$ betragen,sodaß die Frage mit Sicherheit zugunsten der Beischiene entschieden werden kann.

Die folgenden Untersuchungen werden deshalb nur unter der Voraussetzung durchgeführt,daß eine solche eingebaut wird.

ß) Die Wirtschaftlichkeit der Beförderung der Wagen mit Schlepper auf Beischiene.

Den nachfolgenden Angaben liegt teilweise die Selbstkostenberechnung für Kraftwagen der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zugrunde.

A.) Kosten für den Schlepper:

Die Laufleistung des Schleppers wird nur mit

L' = 36 000 km angenommen,da er nur den Straßenverkehr zu bedienen hat und deshalb eine weniger günstige Ausnützung erwartet werden muß. Auch wurde aus demselben Grunde (reiner Straßenverkehr) die Lebensdauer wie beim gewöhnlichen Lastkraftwagen auf 6 Jahre beschränkt und die für Schlepper des allgemeinen Verkehrs festgesetzte Steuer eingesetzt.

Anlagekapital	RM 10 000.--	
I) Von der Leistung unabhängige Kosten		
1. Verzinsung d.Anlagekapitals 6 %		600.--
2. Abschreibung(Lebensdauer 6 Jahre) 16,7 %		1670.--
3. Unterhaltung und Pflege		1100.--
4. Gehalt des Schlepperführers		3000.--
5. Kraftfahrzeugsteuer		230.--
Von der Leistung unabhängige Kosten: RM 6 600.--		

II) Von der Leistung abhängige Kosten

Brennstoffverbrauch je 100 km: 25 lt
Jahreslaufleistung: 36 000 km
Brennstoffpreis je lt: RM 0,35

1. Jahresbrennstoffpreis	3150.--
2. Jahreskosten für Öl und Fett, Bereifung (750 + 800)	1550.--
	RM 4 700.--

Gesamtkosten pro Jahr (Summe I und II) K_{ws} = 11 300.-- RM

Dazu kommen noch:

B.) Kosten für Anhänger (5 t Nutzlast):

Anlagekapital RM 1600.--

I) Von der Leistung unabhängige Kosten:

1. Verzinsung d.Anlagekapitals 6 %	96.--
2. Abschreibung(Lebensdauer 10 Jahre) 10 %	160.--
3. Unterhaltung und Pflege(als Beiwagenfahrer werden Leute vom Zugbegleitpersonal ausgebildet,sodaß Löhne für besondere Beiwagenfahrer entfallen.)	800.--
Von der Leistung unabhängige Kosten:	RM 1056.--

II) Von der Leistung abhängige Kosten:

B Brennstoffverbrauch je 100 km: 5 lt

Jahreslaufleistung mit Brennstoffverbrauch: 7000 km

Brennstoffpreis je lt: RM 0,35

1. Jährliche Brennstoffkosten	124.--
2. Jährliche Bereifungskosten(die Lebensdauer der Bereifung von Anhängern ist infolge des Wegfalles von Triebrädern das ungefähr 1,6-fache derjenigen von Triebwagen)	1000.--
3. Jährliche Kosten für Öl und Fett	--.--
Von der Leistung abhängige Kosten:	1124.--

Gesamtkosten pro Jahr und Anhänger K'_{wa} = 2 180.-- RM

Man kann die Dienstpläne so einteilen,daß bei reichlicher Bedienung des Verkehrs 1 Schlepper genügt,um jeweils 2 Anhänger zu bedienen. Man geht dabei von der Voraussetzung aus,daß der eine Anhänger mit der Auslastung der kleinsten Gewichtsklasse (3,53 t),der zweite mit jener der mittleren Gewichtsklasse (5 t) belastet ist. Dort,wo dieser Durchschnitt er-

heblich unterschritten wird,darf eben kein Schlepper vorgehalten werden. Dort muß dann der Abtransport durch andere Zugmittel (Pferde oder Privatlastauto) geschehen. Das dürfte aber nur für ganz kleine Bahnhöfe zutreffen. Schließlich sind in Zusammenstellung 7 die zusätzlichen Kosten für Schienenstraßenbetrieb mit Schlepper und Beischiene erstellt.

Vergleicht man Zusammenstellung 10 mit 11,so sieht man,daß die zusätzlichen Kosten für Schienenstraßenbetrieb mit eigenem Kraftantrieb für jeden Wagen und mit Schlepper sehr nahe aneinander liegen; in solchen Fällen müssen eben,insbesondere bei überschlägigen wirtschaftlichen Ermittlungen über solch große Verkehrsnetze,wie es das untersuchte darstellt,die örtlichen Verhältnisse weitgehend berücksichtigt werden. Es ist durchaus nicht notwendig,daß das gesamte Netz von vornherein auf eine bestimmte Beförderungsform eingestellt wird. Abgesehen davon,daß man Vorversuche machen wird,könnte man sich gut denken, daß die entgültige Form eine gemischte ist. Man kann sich z.B. den Schlepper auf bestimmten Bahnhöfen als ausgezeichneten und sicherlich auch billigeren Ersatz für die z.Zt.viel erwähnte Motorlokomotive vorstellen. Denn er kann ja nötigenfalls auch ohne Spurkränze reine Schienenfahrzeuge fortbewegen: Ein Vorgang, der uns an die Treidelschiffahrt erinnert. Soll man in Bremsschwierigkeiten kommen,so kann der Hemmschuh aushelfen. Auf anderen Bahnhöfen wird man es mit einem vielverzweigten,jedoch in kleinere Einzelleistungen aufgelösten Verkehr zu tun haben. Dort wird der Wagen mit eigenem Kraftantrieb vorgezogen werden. Für die Wagenstellung bietet das keine nennenswerten Schwierigkeiten. Man muß heute auch einen G=, O=, Om=, R=, X=Wagen bestellen. Der Zusatz "mit oder ohne K (Kraftantrieb)" genügt,um das gewünschte zu bekommen.

Kostengruppe 6 (Umwegkosten und Anteil des Dienstgutes in Rpf/tkm)

Diese Kosten werden als v.H.-Satz der jeweiligen Zugförderkosten ausgedrückt. Diese Sätze sind in der Gesamtzusammenstellung angegeben.

Kostengruppe 7 (Der Schuldendienst in Rpf/tkm).

Diese Kosten werden als v.H.-Satz der Betriebskosten für einen Tarif=km angegeben. Dabei ist zu berücksichtigen,daß der Schuldendienst für den Schienenstraßenbetrieb bereits teilweise eingerechnet ist,sodaß nur mehr der Schuldendienst für die Oberbau= und Lokomotivkosten anfällt.

III) Zusammenfassung und Ausblick.

In Zusammenstellung 12 sind schließlich sämtliche Einzelposten zusammengefaßt. Man ersieht daraus,daß selbst die teuerste Art der Schienenstraßenbeförderung (ohne Beischiene mit eigenem Kraftantrieb) immer noch nahezu 30 v.H.billiger ist als die reine Schienenbeförderung. Dabei sind nur die Ersparnisse an Umlade= und Zugbildungskosten,nicht die sicher zu erwartenden Ersparnisse an Ersatzkosten für beschädigte Güter und die Mehreinnahmen durch Verkehrsrückgewinnung berücksichtigt. In lf.Nr.15 wurden aus den Kosten der Verkehrseinheit (tkm) und der Gesamtjahresleistung T (s.Zus.5) die Gesamtkosten der Beförderung in Mio RM ermittelt. Diese stimmen,soweit sie reine Schienenbeförderung betreffen mit den Angaben des Wirtschaftsergebnisses 1930 deshalb nicht überein,weil dort die Umladekosten

von Straße auf Schiene und umgekehrt,ferner die Rollfuhrkosten nicht enthalten sind. Außerdem mußten unsere Ermittlungen mit Rücksicht auf den neuartigen Verkehr,für welchen Unterlagen noch nicht vorhanden sind,auf eine mittlere Versandweite aufgebaut werden. Diese wirkt sich in einer 20 - 25 prozentigen Erhöhung der tatsächlichen Gesamtkosten aus. Da hievon auch die Kosten der Schienenstraßenbeförderung betroffen werden,hat diese Erhöhung für einen Vergleich der beiden Beförderungsarten keine Bedeutung; es wurde durchgehend die Gesamtjahresleistung der reinen Schienenbeförderung und nicht die größere der Schienenstraßenbeförderung zugrunde gelegt,um die in lf.Nr.16 angegebenen jährlichen Ersparnisse in richtigem Maßstab zu erhalten. Dazu ist jedoch zu bemerken,daß die Ersparnisse bei 15 t Auslastung nicht mehr zuverlässig sind,da mit dieser Auslastung meist Privatgleisanschluß verbunden ist (Umladekosten entfallen auch bei reinem Schienenbetrieb).

Wenn man die Gesamtkosten eines tkm in Rpf (lf.Nr.14 in Zus.12) in Abhängigkeit von der Auslastung der Fahrzeuge aufträgt,so erwartet man,entsprechend dem Gesetz,daß sich eine Ware oder eine Leistung,deren Preis sich aus beweglichen oder festen Kosten zusammensetzt,mit zunehmendem Umsatz verbilligt, einen hyperbolischen Verlauf der Kurve. Das ist hier,wie Abb.43 zeigt,nicht der Fall,weil die Leistungen nicht gleichartig sind. In die kleinste Gewichtsklasse (bis 5 t) wurden vielmehr Eil=, Frachtgut= und Wagenladungen mit einbezogen. Nun würde das den stetigen Verlauf der Kostenkurve nicht stören,wenn es nur auf die Menge der Güter ankommen würde,wie z.B.bei den Zugförderungskosten. Da jedoch besonders bei den Umladekosten auch die Beschaffenheit der Güter eine Rolle spielt, - es wird z.B.die Um-

ladung eines griffigen Stückgutes billiger sein,als die einer Wagenladung Schüttgutes - so entstehen unvermeidbare Kurvenhöcker. Tatsächlich sind auch die Umladekosten bei Eil= und Frachtgut geringer als bei den Wagenladungen (vgl.Zus.12,lf.Nr.1).

Um die Frage 2 auf Seite 57 beantworten zu können, wurden die Kurven über die Auslastung 15 t hinaus extrapoliert. Darnach würde aber die wirtschaftliche Grenze der Schienenstraßenbeförderung nicht einmal bei 20 t erreicht sein,also dann,wenn man 4 Schienenstraßenwagen statt eines normalen Eisenbahnwagens befördern würde. Man muß jedoch bedenken,daß das Umladen des Gutes von Schiene auf Straße umso unwahrscheinlicher wird,in je höhere Gewichtsklassen man kommt,d.h.Empfänger großer Wagenladungen haben meist Gleisanschluß. Es dürfte deshalb angemessen sein,wenn die Schienenstraßenwagen,wie schon eingangs klar gelegt wurde,für 5 t Tragfähigkeit vorgesehen werden.

Man wird bei der Verwirklichung des Schienenstraßenverkehrs zunächst Versuche machen. Hierzu sucht man sich zweckmäßig ein Verkehrsgebiet heraus,das in sich einen regen Stück=, Eilgut= und leichteren Wagenladungsverkehr und Wagenumlauf hat. Der neuartige Verkehr wird sich ebenso rasch und verhältnismäßig reibungslos in den bisherigen einführen,wie es z.B.der elektrische Zugbetrieb getan hat,wenn auch nicht zu verkennen ist,daß noch viele,nicht in den Rahmen dieser Arbeit gehörige Fragen zu lösen sind. Sie begünstigen jedoch meist die Einführung des neuen Fahrzeuges. Es sein nur an die infolge der erhöhten Reibung kürzeren Bremswege und ihre einschneidende Bedeutung für das Sicherungswesen,ferner an die besondere Bedeutung für strategische Zwecke erinnert.

Wie und wann solchen Problemen näher getreten werden kann, ist eine Frage der weiteren Verkehrsentwicklung. Ob für deren Wirtschaftlichkeit die T a r i f f o r m ausschlaggebend ist, ist zweifelhaft. Es stehen sich zwei Systeme gegenüber: gebundener und freier Tarif. Daß sich das gebundene, mit außerordentlich viel Gedankenarbeit und Gewissenhaftigkeit entwickelte System bewährt hat, steht außer allem Zweifel. Seine Entfernung wird einem volkswirtschaftlichen Rückgang gleichkommen. Wenn viele Eisenbahnverwaltungen auf die Tariffreiheit hinarbeiten, so ist das nur dem ungesunden Wettbewerb des Kraftwagens zuzuschreiben. Das praktische Ergebnis wäre eine Herabsetzen der Tarife für Güter, die im Wettbewerb stehen (Eil= und Stückgut, kleine Wagenladungen) und eine Erhöhung für Güter, die außerhalb desselben stehen (Massengüter wie Kohle, Kali usw. und Schwergüter).

Die andere, vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus gesündere Lösung ist das Verkehrsmonopol.

Ob der ein oder andere Weg beschritten wird, ist für die Entwicklung des Schienenstraßenwagens nicht von Bedeutung. Richtig eingesetzt, ist er ein aussichtsreiches Verbindungsmittel zwischen Schiene und Straße. Wenn diese Arbeit nur einen Bruchteil zur Klärung dieses Problems beigetragen hat, dann ist ihr Zweck erfüllt.

Abschließend erlaube ich mir, Herrn Prof. Gg. Lotter und Herrn Privatdozenten Dr. Ing. Straubel von der Technischen Hochschule Breslau für ihre wertvollen Anregungen, ferner Herrn Reichsbahnoberrat Dr. Ing. Bäseler vom Reichsbahn-Zentralamt München für die in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellten Unterlagen bestens zu danken.

Literaturverzeichnis.

a) Quellen mit Verfasser.

Bäseler, Dr.Ing. Die einfache Eisenbahn, ZVDEV, 1927, Nr.27, 28, 2

" Die Eisenbahn auf Gummi " 1932, Nr.48

" Die Ehe zwischen Straße und Schiene " 1931, Nr.52

" Die Spurkranzreibung Organ, 1927, Heft 18, S.333

" Gummi auf Eisen, Verk.Technik, 1934, Nr.3

Becker, Gabriel, Dr.Ing. Autoluftreifen, 1927

Becker, Reichsbahnoberrat, Vier Jahre Behälterverkehr bei der Reichsbahndirektion Frankfurt, ZVMEV, 1933, Heft 32, 33

Crosek, Dipl.Ing. Die Anwendung der Grundsätze des Leichtwagenbaues auf den Fahrzeugbau, Verkehrstechnik 1932, Heft 24a

Essers Ernst, Dissertation Aachen 1927, Messung der Fahrwiderstände von Kraftwagen mittels des Auslaufverfahrens

Friedrich, Dr.Kurt, Der Eisenbahntriebwagen, Dissertation München 1931

Ganzenmüller, Reg.Baum. Eisenbahnfahrzeuge mit Luftgummiradreifen, Organ 1933, Heft 3, Fachheft Triebwagen

Heumann, Prof.Dr.Ing. Die Reibung zwischen Rad und Schiene im Gleisbogen, Organ 1932, Seite 105

Kremer, Dr.Ing. Gummilaufflächen für Schienenfahrzeuge, Verkehrstechnik 1933, Heft 8

" " Gummi in Schienenfahrzeugrädern, VDJ - Zeitschr. 1933, Heft 35

Kreissig, Prinzipien des Leichtwagenbaues, Glasers Annalen 1932, Heft 7

May, Dr.Ing. Reichskraftwagentarif, Die Reichsbahn 1932, S.335 uff

Müller, Prof.Dr.Ing. Fahrzeitenermittlung bei Kraftwagen, Verkehrstechnik 1930, Heft 8, Seite 97

Pöhner, Dr.Ing. Dissertation Aachen 1930,Das Reibungsgleichgewicht eines dreiachsigen Lenkachseisenbahnwagens

Schäfer, Magistratsoberbaurat,Schlüpfrigkeit des Stampfasphaltes und ihre Verminderung,Verkehrstechnik 1933, Heft 17

Schenck, Rudolf 1930, Fahrbahnreibung und Schlüpfrigkeit der Straßen, Eigenuntersuchung

Spies, Dr. Kraftfahrzeuganhänger,Rollböcke etc,ZVDEV 1932 Nr.14

" " Schienenräder mit Gummieinlage,Verkehrstechnik 1933, Heft 15

Steinfurth, Dipl.Ing.Kardan-Antrieb für Straßenbahnwagen,Verkehrstechnik 1930, Seite 297

Uebelacker, Dr.Ing. Untersuchungen über die Bewegung von Lokomotiven mit Drehgestellen in Bahnkrümmungen, Organ 1903,Beilage.

Abkürzungen: ZVDEV = Zeitschrift des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen

ZVMEV = Zeitschrift des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen.

b) Quellen ohne Verfasser.

Automobiltechnische Zeitschrift 1931, Der Carrier-Schienenomnibus.

Das Lastauto 1929

" 1932, Heft 12, Laufleistungen von Lastkraftwagen

" 1933, Heft 6, Zusammenhang zwischen Ladegut,Laderaum,Tragfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bei Lastwagen,
Preise von Lastkraftwagen

Der Geschäftsbericht der DRG vom Jahre 1930.

Monatsschrift der Internat.Eisenbahnkongreßvereinigung 1932,
Nr.11, Beziehungen zw.Fahrzeug u.Gleis zur Wahrung der Sicherheit bei hohen Fahrgeschwindigkeiten
Bericht von Prof.Baumann und Jaehn.
1931,Nr.11, Der neue Schienenstraßenwagen der London,Midland and Scottish Railway.

Das Wirtschaftsergebnis der DRG vom Jahre 1930.